

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

MATEUS BISOTTO NUNES

**Proposta de solução e de método de
validação para sistema de visualização de
exames em Salas de Cirurgia**

Trabalho de Graduação.

Prof. Dr. Valter Roesler
Orientador

Porto Alegre, dezembro de 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitora de Graduação: Profa. Valquiria Link Bassani

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenador do CIC: Prof. João César Netto

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer o auxílio na resolução de conflitos, dúvidas e estruturação do texto deste trabalho final, o professor orientador Valter Roesler, que com sua experiência e conhecimento ajudou-me a desenvolver o trabalho da melhor forma possível.

Também quero deixar registradas, e agradecer as contribuições inestimáveis na implementação do projeto (em especial do programa visualizador Medview) dos colegas Roberto Coutinho e em especial Diego Bonesso pela liderança e conhecimentos trazidos à equipe TVDMED.

O projeto TVDMED é financiado pela FINEP e realizado com parceria da Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre. Gostaria de destacar a dedicação dos profissionais da equipe médica nas pessoas da Dr^a Fabiane Lorenzoni Sesti e em especial do Dr. Bruno Hochhegger da área de radiologia que ajudaram na especificação do sistema e sem os quais a implantação deste não seria possível, e também da imprescindível colaboração do funcionário responsável pela área técnica hospitalar João Carlos Cavalcanti da Silveira.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 CONCEITOS BÁSICOS.....	16
2.1 Picture Archiving and Communication System.....	16
2.1.1 Definição de PACS.....	16
2.2 DICOM.....	17
2.2.1 Modelagem DICOM do mundo-real.....	20
2.2.2 Serviços e Comunicação DICOM.....	24
2.2.3 Formato de arquivo DICOM.....	25
2.3 Trabalhos Relacionados.....	26
2.3.1 Visualizador de imagens Médicas OsiriX.....	28
2.3.2 Visualizador de imagens Médicas E-Film.....	30
2.4 Integração PACS/HIS e radiologia filmless.....	30
3 PROPOSTA DE MELHORIA: VISUALIZADOR DE EXAMES.....	34
3.1 Justificativa para implementação de um novo sistema.....	35
3.1.1 Contribuição pessoal no desenvolvimento.....	35
3.2 Requisitos e especificação do sistema.....	36
3.2.1 Requisitos funcionais.....	36
3.2.2 Requisitos não-funcionais.....	37
3.3 Implementação do Sistema.....	38
3.3.1 Detalhamento da Implementação.....	38
3.3.2 Framework de desenvolvimento.....	45
3.3.3 Bibliotecas DICOM.....	47

3.3.4	Bibliotecas de geração MPR e 3D	48
3.4	Segmentação e visualização de imagens médicas.....	51
4	METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO	53
4.1	Justificativa e método de avaliação.....	53
4.2	Validação com médicos radiologistas	54
4.2.1	Questionário para médicos radiologistas	54
4.3	Validação com médicos cirurgiões	55
4.3.1	Questionário para médicos cirurgiões.....	56
5	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICE <MANUAL DE USO DO MEDVIEW>.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ACR	American College of Radiology
AE	Application Entity
AET	Application Entity Title
ANSI	American National Standards Institute
BD	Banco de Dados
BSD	Berkeley Software Distribution
CD-R	Recordable Compact Disc - Disco compacto gravável
CD-ROM	Compact Disc Read-Only Memory- Disco compacto para leitura
CT	Computed Tomography - Tomografia computadorizada
DCMTK	DICOM Toolkit
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DIMSE	DICOM Message Service Element
DNS	Domain Name System
DVD-RAM	Digital Video Disc Random Access Memory
DX	Digital Radiography
ER	Entidade-Relacionamento
FAT	File Allocation Table - Tabela para alocação de arquivos
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FTP	File Transfer Protocol
GIF	Graphics Interchange Format
GIMP	GNU Image Manipulation
GPL	General Public License
GTK	GIMP Toolkit
GUI	Graphical User Interface - Interface Gráfica com o Usuário

HIS	Hospital Information System - Serviço de informação hospitalar
HL7	Health Level Seven
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IE	Information Entity
ISCMPA	Irmandade Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre
IOD	Information Object Definition
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
ITK	Insight Segmentation and Registration Toolkit
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LCD	Liquid Crystal Display - Tela de cristal líquido
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
LGPL	Lesser General Public License
MITK	The Medical Imaging Interaction Toolkit
MPL	Mozilla Public License
MPR	Multiplanar
MR	Magnetic Resonance - Ressonância Magnética
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
OSI	Open Systems Interconnection model
PACS	Picture Archiving and Communication System
PC	Personal Computer
PET	Positron Emission Tomography - Tomografia por emissão de pósitrons
PRAV	Projetos em Áudio e Vídeo
RFID	Radio-Frequency Identification - Identificação por radiofrequência
RIS	Radiology Information System - Serviço de informação de Radiologia
RT	Radiotherapy Image
SCP	Service Class Provider
SCU	Service Class User
SOP	Service-Object Pair
SUS	Sistema Único de Saúde
TCP	Transmission Control Protocol
TLS	Transport Layer Security
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UML	Unified Modelling Language
US	Ultrasound

VR	Value Representation
VTK	Visualization Toolkit
XA	X-Ray Angiography
XML	Extensible Markup Language

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1: Aparelho de tomografia computadorizada.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 1.2: Médico verificando exames e um negatoscópio em detalhe.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2.1: Diagrama de um serviço PACS.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.2: Diagrama ER DICOM</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.3: Modelo conceitual de comunicação DICOM.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2.4: Arquivo DICOM. Cabeçalho a esquerda e imagem a direita</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.5: Uso da linha para verificar medida cardíaca e torácica.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2.6: Componentes do OsiriX.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2.7: Captura de tela do OsiriX.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2.8: Captura de tela do E-Film</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2.9: Comparação do número de exames realizados pelo tempo de espera.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.1: Fluxograma representando o sistema de atendimento.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.2: Diagrama de casos de uso do sistema</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.3: Diagrama de comunicação do software.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.4: Interface de consulta ao servidor DICOM.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.5: Comunicação DICOM Medview-PACS</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3.6: Visualização de mosaico de séries</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.7: Visualização em tela-cheia de uma série</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.8: Planos anatômicos fundamentais.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.9: Imagens de uma Ressonância Magnética mostrando três vistas: plano coronal (A), sagital (B) e transversal (C).....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.10: Tela multiplanar e tridimensional.....</i>	<i>45</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1: Módulo de Informação do Paciente</i>	22
<i>Tabela 2.2: CT IOD - Objeto de Informação de uma Tomografia</i>	23
<i>Tabela 2.3: N-DIMSE - Comandos DIMSE Normalizados</i>	24
<i>Tabela 2.4: C-DIMSE - Comandos DIMSE Compostos</i>	24
<i>Tabela 2.5: Comparação de resultados antes e após implantação</i>	32
<i>Tabela 3.1: Comparação de entre frameworks DICOM</i>	47
<i>Tabela 3.2: Comparação de entre quatro frameworks de visualização</i>	50
<i>Tabela 3.3: Comparação de entre quatro frameworks de visualização</i>	51
<i>Tabela 4.1: Questão 1 questionário de validação para médicos cirurgiões</i>	56
<i>Tabela 4.2: Questão 2 questionário de validação para médicos cirurgiões</i>	56
<i>Tabela 4.3: Questão 3 questionário de validação para médicos cirurgiões</i>	57

RESUMO

O presente trabalho apresenta a pesquisa e a implementação de um sistema de visualização de imagens médicas em sala de cirurgia desenvolvido por mim junto ao Grupo de Pesquisas PRAV (Projetos em Áudio e Vídeo – www.inf.ufrgs.br/prav) no projeto TVDMED (Customização de um Equipamento para melhoria no atendimento e acompanhamento médico em Telemedicina) da UFRGS. O trabalho tem por objetivo introduzir a proposta de melhoria do sistema de atendimento através da migração do processo analógico com uso de filmes impressos por um sistema digital de alta qualidade. Adicionalmente, e como forma complementar à proposta de melhoria, este estudo também apresenta uma metodologia de validação deste sistema digital.

Os avanços na área de integração dos sistemas computacionais hospitalares com o uso de servidores PACS, bem como a introdução de padrões de intercâmbio de informações tais como DICOM e HL7 levaram ao constante desenvolvimento de soluções eletrônicas para diversos processos que antes eram realizados manualmente tais como prontuários clínicos, cadastros e inclusive exames radiológicos que antes estavam disponíveis apenas em formato analógico em filmes impressos.

Apesar da existência de soluções robustas para visualização em Centros de Diagnósticos, há ainda problemas quanto a adoção destas soluções em Salas de Cirurgia tais como: custos, facilidade de uso, e impacto da mudança no processo de atendimento.

É apresentada uma proposta de solução para Salas de Cirurgia (mais precisamente o bloco cirúrgico do Hospital Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre), sendo relatadas as decisões de projeto, requisitos e implementação da aplicação Medview que foi escrita na linguagem de programação C++, com o uso dos frameworks Qt para criação de interface gráfica com o usuário (GUI), DCMTK para comunicação e manuseio de arquivos DICOM, e MITK para geração de volumes e planos.

Para validação desta proposta de solução são introduzidas metodologias de pesquisa através de formulários com questões distintas que devem ser aplicados a médicos cirurgiões e médicos radiologistas e cujo objetivo é atribuir valores quantitativos e qualitativos ao sistema digital de visualização.

Palavras-Chave: DICOM, PACS, visualizador de imagens médicas, imagens médicas.

A solution and a validation method proposal for a medical images viewer system for Operating Rooms

ABSTRACT

The following work introduces the research and implementation of medical exams visualization system for operating rooms, and was developed by myself with the research group PRAV (www.inf.ufrgs.br/prav) on the project TVDMED for telemedicine in UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). This work has the goal to introduce the improvement proposal of the treatment process through the change in the system from the analog printed-film system to a digital high quality digital system. Furthermore this work brings a proposal of a validation method to the aforementioned system, to prove its effectiveness.

This work has the goal to enunciate the latest advances in the area of medical exams visualization implementation, as well as to introduce its features and to validate the advantages of a medical treatment system using this kind of digital system versus the analog film system.

The evolution in the field of hospital computer systems integration through PACS servers and the introduction of standards such as DICOM and HL7 enabled constant development of electronic tools for several processes that were handled manually before like medical records, registration and radiological exams too, that were only available on analogical format before.

Despite the existence of reliable solutions for medical visualization on Diagnose Centers, there are still problems regarding its adoption on Operating Rooms among them: costs, ease of use and impact of a change on the treatment process.

It is presented a proposal of solution for visualization on Operating Room (more precisely in an operating room in Santa Casa de Misericórdia hospital in Porto Alegre), reporting the project decisions, requirements and implementation that led the creation of the application Medview, which was coded in C++ using the framework Qt for GUI (graphic user interface), DCMTK for DICOM handling and communication, and MITK for 3D view and multiplanar reconstruction.

To validate this proposal it is introduced a research methodology by using two distinct questionnaires, the first must be answered by surgeons and the second kind of questionnaire must be applied to radiologists. The objective of these forms is to give a quantitative and qualitative value for this proposed digital visualization system.

Keywords: DICOM, PACS, medical exams viewer, medical images.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços científicos computacionais das últimas décadas possibilitaram aumento da capacidade de processamento dos computadores e redução do seu custo de produção (BROOKS, 2001) e, por consequência, permitiu que novas aplicações em diversas áreas se desenvolvessem, dentre as quais está a área médica.

Entre as novas aplicações podem-se destacar novas formas de monitoramento de sinais vitais através de dispositivos portáteis remotos conectados a centrais computadorizadas, agregando a isso o uso de algoritmos de detecção de patologias ou anomalias agudas como por exemplo arritmia cardíaca através de eletrocardiógrafos portáteis (SCHREIER; KASTNER; MARKO, 2001); hipertensão através de medidores de pressão arterial (JURAK et al., 2006); e hipoxemia (baixa oxigenação) através de um oxímetro (CLAURE; OZDAMAR; BANCALARI, 2003).

Houve também importante avanço na área de medicina intervencionista invasiva, principalmente com o desenvolvimento de equipamentos capazes de interagir com o cirurgião e auxiliá-lo a visualizar e a realizar procedimentos de maneira minimamente invasiva, através do uso de micro câmeras ou mesmo auxílio de sistemas robóticos (DA VINCI, 2010).

Concomitantemente a tudo isto foram sendo criadas importantes inovações na área de diagnóstico e visualização de imagens médicas. Novos métodos de aquisição foram criados e modalidades de exame que antes não estavam disponíveis ao público passaram a se tornar relativamente comuns como tomografia computadorizada (ver figura 1.1) e ressonância magnética.

Além disso novos equipamentos como o PET Scan fornecem informação metabólica do paciente, e, quando combinado com outros métodos de exames, por exemplo tomografia computadorizada, permitem obter também informação anatômica (GYLYS; WEDDING, 2009) sobreposta ao primeiro exame, permitindo aos médicos um diagnóstico com maior precisão bem como um melhor planejamento de uma eventual intervenção cirúrgica.



Figura 1.1: Aparelho de tomografia computadorizada

Ao encontro disto estão novos métodos de visualização dos exames gerados, o aumento das capacidades de armazenamento permitiu registrar exames compostos de múltiplas imagens com uma qualidade sem precedentes. A evolução dos microprocessadores possibilitou um considerável aumento de desempenho possibilitando que algoritmos e novos métodos surgissem, como reconstruções tridimensionais a partir de imagens bidimensionais, algoritmos de realce e detecção de zonas de interesse entre outros. O desenvolvimento de dispositivos de visualização de alta qualidade estabeleceu novos padrões com ferramentas de assistência computacional ao diagnóstico clínico (SALMERI, 2009) e visualização de imagens médicas, incluindo sistemas digitais que substituíram por completo processos analógicos em instalações de grande porte (NITROSI et al., 2007).

Entretanto ainda hoje o sistema em muitos hospitais consiste na impressão de filmes obtidos anteriormente à realização da cirurgia. O médico cirurgião recebe o exame composto de um laudo ou diagnóstico e filmes impressos com séries de imagens selecionadas disponibilizados de forma analógica, ou seja, o filme impresso é colocado no negatoscópio (dispositivo utilizado para afixar filmes impressos - veja figura 1.2) na sala de cirurgia para que o médico possa ter uma melhor compreensão do quadro patológico e se guiar durante a realização do procedimento cirúrgico.



Figura 1.2: Médico verificando exames e um negatoscópio em detalhe

Este processo, apesar de eficaz, possui algumas desvantagens, entre as quais:

- Impressão desnecessária de exames, que serão descartados após a utilização gerando resíduos poluentes.

- Impossibilidade de utilização de métodos computacionais para facilitar a interpretação e manuseio das imagens médicas.

A utilização de exames como tomografia computadorizada ou ressonância magnética em sala de cirurgia exige que este seja recuperado primeiramente pela equipe do centro de diagnóstico por imagem. O exame recuperado deve ser previamente analisado por um médico radiologista, que realiza o diagnóstico patológico além de selecionar os cortes relevantes para evidenciar o quadro clínico, só então o material é impresso e pode ser utilizado na sala de cirurgia.

Apesar da ampla utilização do processo manual de visualização de exames em sala cirúrgica muitos hospitais já possuem servidores PACS conectados à infra-estrutura de rede que atende ao centro cirúrgico, principalmente com a finalidade de armazenar e imprimir exames, conseqüentemente isto viabiliza a implantação de um sistema de visualização em ambiente operatório.

No presente trabalho propomos a implementação e avaliação de um sistema de visualização de imagens médicas em sala de cirurgia, substituindo a utilização tradicional de filmes impressos fixados sobre um negatoscópio. O sistema é composto por um programa capaz de pesquisar, transmitir e visualizar exames, podendo também realizar operações de zoom, ajuste de brilho e contraste, medição de distância entre dois pontos, reconstrução multiplanar (ou seja, obtenção através de processamento de imagens de outros pontos de vista do paciente) e também reconstruções tridimensionais. Este programa é executado em um computador instalado na sala de cirurgia com saída de vídeo para a um televisor LCD de 42 polegadas de alta definição.

O objetivo do trabalho é avaliar a melhoria do processo, que poderá se dar pela redução de tempo entre a realização dos exames e a disponibilização dos mesmos para o médico, por ser benéfico ao paciente uma vez que o médico terá a sua disposição mais recursos para saber a condição clínica exata do paciente. Segundo Bastos (2008), essas funcionalidades podem melhorar o nível de compreensão da anatomia do paciente, sendo de grande valia para fins assistenciais e didáticos.

O trabalho também possui por objetivo relatar o processo de levantamento de requisitos e implementação de uma melhoria proposta através do visualizador de exames Medview. Isto se dará principalmente no que diz respeito a decisões de projeto e uma comparação entre as bibliotecas de desenvolvimento.

Para tanto, o trabalho será dividido em cinco partes, sejam elas: introdução, conceitos básicos, proposta de melhoria e metodologia de validação. No capítulo sobre conceitos básicos será definida a terminologia técnica e serão pormenorizados os conceitos técnicos sobre os padrões existentes na área médica como protocolos de busca e transferência, papel das entidades envolvidas durante a realização de um exame e sua consulta. Também serão apresentados trabalhos relacionados, que abordam de que modo um ambiente integrado com informações médicas e de prontuário funciona em um ambiente hospitalar além do que existe na literatura a respeito de suas vantagens e desvantagens. No capítulo sobre a proposta de melhoria serão elencados o requisito do sistema proposto, segundo o que foi levantado junto à ISCMPA. Serão apresentadas as decisões de projeto no que tange a linguagem de implementação, bibliotecas de desenvolvimento utilizadas, e também será mostrado o estado da arte na área de visualização de imagens médicas. O capítulo sobre metodologia de validação apresentará os métodos que estão sendo propostos para verificar a validade da solução aqui exposta

2 CONCEITOS BÁSICOS

Os métodos digitais de aquisição, armazenamento, transferência e visualização de exames médicos começaram a ser pesquisados na década de 80 em função do aumento do poder de processamento e da possibilidade de reduzir custos com os seu manuseio (LAWRENCE; MARIN; NARON, 1985) e hoje em dia há diversos estudos evidenciando as melhorias trazidas com a introdução deste sistema (KURIHARA et al., 1999) (MACDONALD; NEVILLE, 2010).

Onde estes sistemas estão implantados os exames médicos efetuados, juntamente com dados do paciente são armazenados em um servidor chamado PACS (Picture Archiving and Communication System) (HLUDOV et al., 1999).

2.1 Picture Archiving and Communication System

A idéia de um sistema que permitisse o armazenamento e centralização dos exames surgiu quando os equipamentos médicos começaram a gerar as imagens também em formato digital além do tradicional filme fotográfico. PACS são sistemas de hardware e software desenvolvidos para lidarem com imagens médicas, compreendendo aquisição, armazenamento e visualização (PIANYKH, 2008).

Fatores como o aumento do número de exames requeridos pelos médicos, o custo de armazenar e recuperar exames antigos, motivaram a criação de sistemas PACS (LAWRENCE; MARIN; NARON, 1985). O aumento da capacidade dos computadores e a modernização dos equipamentos também são fatores contribuintes nesse processo.

Com o advento do PACS limitações físicas antes existentes foram superadas, exames puderam ser acessados simultaneamente de qualquer lugar do hospital facilitando o atendimento médico (BUI; TAIRA, 2010).

2.1.1 Definição de PACS

Um PACS é definido como um sistema integrado com dispositivos capturadores de imagens, um banco de dados para armazenamento e, adicionalmente, estações conectadas para visualizarem os exames (HLUDOV et al., 1999). Os documentos gerados pelos dispositivos podem ser arquivados automaticamente ou selecionados pelo médico, permitindo a análise e visualização local deste. PACS podem também ser integrados com outros sistemas de saúde como prontuários, histórico de saúde, entre outros (HUANG, 2010).

A visualização dos exames pode ser feita em diversos pontos do hospital como por exemplo salas de cirurgia, salas de diagnóstico ou consultórios médicos, podendo ainda ser dispensada a necessidade de impressão e transporte físico dos exames para diferentes setores do hospital (BUI; TAIRA, 2010).

A figura 2.1 abaixo mostra um diagrama que, esquematicamente, apresenta o funcionamento deste sistema, assim como os componentes de hardware integrantes deste sistema e o fluxo de trabalho.

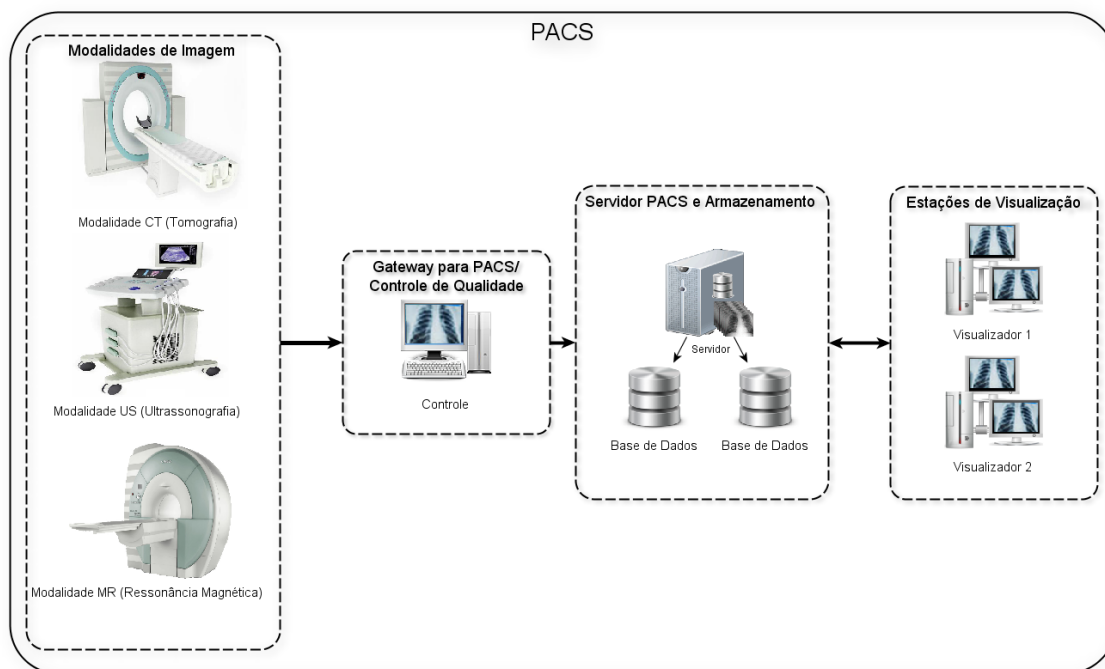


Figura 2.1: Diagrama de um serviço PACS

A comunicação com o servidor PACS, a comunicação com os equipamentos de imagem (por exemplo: aparelhos de ressonância magnética, tomógrafos, PET, ultrassom, etc) e com os visualizadores é feita utilizando-se um padrão comum. Historicamente os formatos de acesso aos equipamentos eram proprietários e dependiam de cada fabricante, o que causava incompatibilidade e a obrigação de instalação de múltiplos PACS (STRICKLAND, 2000).

A necessidade de padronização e de criar um formato independente de fabricante levou ao desenvolvimento de um padrão no início da década de 1990 (DICOM, 1993). Hoje o padrão universalmente utilizado é o DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) estabelecido em 1993 a partir de propostas apresentadas pela American College of Radiology (ACR) and National Electrical Manufacturers Association (NEMA).

A definição do padrão DICOM e sua posterior adoção permitiu que diferentes fabricantes de equipamentos de imagem pudessem integrar uma rede comum dentro de centros clínicos, ao mesmo tempo que permitiu empresas de software desenvolverem aplicações que usufríssem dos dados médicos obtidos por esses aparelhos. Isto permitiu então que os dados que antes ficavam isolados em cada aparelho pudessem ser centralizados em um servidor de imagens PACS. A seguir será explicado o funcionamento do padrão DICOM e suas primitivas de comunicação.

2.2 DICOM

DICOM é o padrão para armazenamento, impressão, transmissão e manuseio de imagens médicas. O objetivo desse padrão é prover um meio comum de interação entre os fabricantes de equipamentos e desenvolvedores de software, sendo composto por

uma série de diferentes normas adequadas a diferentes tarefas quais sejam armazenamento, pesquisa de exames, transmissão via rede (através de um protocolo específico), entre outras.

A história de sua criação começa em 1970 com a introdução de novos exames como CT (tomografia computadorizada) entre outras modalidades digitais e o crescente número de computadores em aplicações clínicas, emergindo a necessidade da criação de um padrão (DICOM, 1993). Em 1983 ACR (American College of Radiology) e NEMA (National Eletronical Manufacturers Association) formaram um comitê conjunto para definição de um padrão com o objetivo de (DICOM, 1993):

- Permitir comunicação de informação de imagens digitais, independente do fabricante do dispositivo.
- Facilitar o desenvolvimento de Picture Archiving and Communication System (PACS) que pudessem interagir com outros sistemas de informação hospitalar.
- Permitir a criação de bancos de dados de diagnósticos que pudessem ser pesquisados por uma ampla variedade de dispositivos distribuídos geograficamente.

Em 1985 a primeira versão do padrão foi publicada, chamada ACR-NEMA 1.0 provendo a primeira forma de armazenar e comunicar dados médicos de maneira não-proprietária (DICOM, 1993). Futuras revisões levaram a versão 2.0 sendo publicada em 1988 (MILDENBERGER; EICHELBERG; MARTIN, 2002). A terceira versão do padrão foi lançada em 1993. Designado DICOM (Digital Communications in Medicine) foi criado a partir de uma série de melhorias dos padrões ACR-NEMA anteriores, as principais são destacadas abaixo (DICOM, 1993):

- Pode ser aplicado em ambientes de rede. Os padrões anteriores eram aplicados apenas em comunicação ponto-a-ponto. DICOM permite operação em rede utilizando o protocolo TCP/IP.
- É aplicável para mídias off-line. Os padrões anteriores não especificavam formatos de arquivo ou sistemas de arquivo.
- Está estruturado em múltiplos documentos. Isso facilita o aprimoramento do padrão em um ambiente em que há evolução constante de tecnologia pela simples incorporação de novos documentos, ou supressão de normas obsoletas (DICOM, 1993). O padrão inicialmente apresentado em 1993 era composto de nove partes (MILDENBERGER; EICHELBERG; MARTIN, 2002), entretanto com os avanços computacionais foi acrescido e atualmente é composto de cerca de dezesseis partes (algumas partes foram retiradas ao longo do tempo) (PIANYKH, 2008).

Segundo DICOM, 1993, na sua primeira parte, a norma foi criada de forma a facilitar a interoperabilidade de equipamentos médicos de imagem especificando:

- Para comunicação em rede, uma série de protocolos a serem seguidos por equipamentos em conformidade com o padrão.
- A sintaxe e semântica dos comandos e informações associadas que podem ser trocadas através do usos desses protocolos.
- Para comunicação de mídia, um conjunto de serviços de armazenamento de mídia que devem ser seguidos pelos equipamentos em conformidade com o

padrão, um padrão de formato de arquivos e a estrutura de um diretório médico para facilitar acesso as imagens.

- Informação que deve ser fornecida com a implementação de forma que a conformidade com o padrão possa ser assegurada.

Assim sendo a norma DICOM define protocolos de comunicação sobre uma rede, e sobre o intercâmbio de mídias, funções básicas de aplicações de serviços (por exemplo armazenamento de exames ou impressão), exibição consistente de exames entre dispositivos (por exemplo informações de sobreposição e paleta de cores ou níveis de tons de cinza).

Em contrapartida o padrão DICOM omite detalhes de implementação das características para dispositivos compatíveis (BUI; TAIRA, 2010).

Portanto características de implementação como sistema operacional, linguagem de programação, implementação de banco de dados ou tipo de hardware entre outros não são cobertos pela norma DICOM sendo tarefa do desenvolvedor implementar o seu sistema consoante com o padrão.

A seguinte listagem apresenta sucintamente as partes integrantes do padrão DICOM:

- **Parte 1: Introdução e visão geral:** Apresenta a estrutura da norma, como as partes se inter-relacionam e histórico de criação.
- **Parte 2: Conformidade:** Define os princípios que uma implementação que declara estar em conformidade deve apresentar.
- **Parte 3: Definição dos objetos de informação (IOD):** Define os atributos que os objetos de informação podem conter. Objetos de informação é uma abstração de objetos do mundo real tais como paciente, exame ou laudo.
- **Parte 4: Especificação de Classe de Serviços:** Atribui a um ou mais IODs comandos que podem ser executados e o resultado da aplicação destes comandos sobre eles, permitindo criar serviços de armazenamento, pesquisa e recuperação ou impressão.
- **Parte 5: Estruturas de Dados e Codificação:** Informações referentes ao padrão de codificação das mensagens e conjunto de dados incluindo padrões de compressão como por exemplo o JPEG.
- **Parte 6: Dicionário de Dados:** Centraliza os registros que definem a coleção de todos os elementos DICOM disponíveis para representar informação e seus identificadores únicos.
- **Parte 7: Troca de Mensagem:** Especifica o serviço e o protocolo utilizado por uma aplicação em um ambiente DICOM para a troca de mensagens e comandos. Uma mensagem é composta por um comando e opcionalmente um conjunto de dados.
- **Parte 8: Rede de Comunicação de apoio à Troca de Mensagens:** Especifica os serviços de comunicação e protocolos de aplicação necessários para suportar a comunicação entre aplicações DICOM.
- **Parte 10: Armazenamento de mídia e Formato de Arquivo:** Apresenta um modelo geral de armazenamento de imagens médicas em mídia removível e um modelo de encapsulamento em arquivo de qualquer objeto

de informação DICOM desejado, inclusive de maneira segura com uso de criptografia. Serve como base para as Partes 11 e 12.

- **Parte 11: Armazenamento de Mídia e Perfis de Aplicação:** Define subconjuntos específicos do padrão DICOM que uma implementação pode requerer conformidade. Assim agrupa determinadas partes do padrão para identificar uma aplicação específica tal como Perfil de Aplicação de um CT ou de um aparelho de ultra-som.
- **Parte 12: Funcionalidades de Armazenamento e Formatos de Mídia para Intercâmbio de Dados:** Busca possibilitar o intercâmbio de informação entre aplicações em ambiente DICOM especificando uma estrutura definindo o relacionamento entre um modelo de armazenamento de mídias (Parte 10) e uma mídia física específica com seu respectivo formato de mídia, como por exemplo o armazenamento em CD-ROM, DVD-RAM, discos magnéticos de vários padrões entre outros.
- **Parte 14: Padrão de Exibição de Tons de Cinza:** Especifica métodos padronizados de exibição consistente das imagens DICOM obtidas em tons de cinza em múltiplos dispositivos de apresentação como monitores, impressoras, etc, bem como métodos de calibragem.
- **Parte 15: Perfis de Segurança e Gerência do Sistema:** Especifica perfis de segurança e gerenciamento do sistema aos quais as implementações podem reivindicar conformidade. São definidos por protocolos como DHCP, LDAP, TLS. Protocolos de segurança podem usar técnicas de chaves públicas ou *smart cards*. A norma DICOM apenas estabelece políticas que podem ser usadas mas cabe ao administrador estabelecê-las e aplicá-las.
- **Parte 16: Recurso para Mapeamento de Conteúdo:** Apresenta *templates* para estruturar documentos como Objetos de Informação DICOM. Também traz conjuntos de termos utilizados nos Objetos de Informação e traduções para padrões de diferentes países.
- **Parte 17: Informações Explicativas:** Lista anexos explicativos e normativos ao padrão DICOM, como por exemplo explicação sobre a forma de interpretação da orientação do paciente, fluxo de trabalho de triagem clínica e relatórios de procedimento de ecocardiografia.
- **Parte 18: Acesso Web para Objetos Persistentes DICOM (WADO):** Especifica uma forma pela qual uma requisição de acesso a um objeto persistente DICOM deve ser expressada como uma requisição HTTP, possibilitando o acesso a, por exemplo, imagens e relatórios. Esta requisição também deve especificar o formato de retorno da requisição (por exemplo JPEG ou GIF) e codificação.

A Parte 9 (comunicação ponto-a-ponto) bem como a Parte 13 (suporte de impressão ponto-a-ponto) do padrão foram retiradas da norma DICOM.

2.2.1 Modelagem DICOM do mundo-real

O padrão DICOM busca refletir em sua definição aspectos do mundo real e seus relacionamentos (DICOM, 1993). Assim sendo o padrão define um paciente, um exame, relatórios, entre outros componentes e suas relações, o DICOM busca padronizar essas entidades sob o ponto de vista da norma, e definir formas de ativar os relacionamentos

entre estas entidades, como por exemplo um paciente submetendo-se a um exame seria modelado com um entidade paciente relacionando-se com uma entidade equipamento de imagem e gerando imagens médicas. A figura 2.2 abaixo ilustra um diagrama entidade-relacionamento e mostra como isto foi modelado pela a norma.

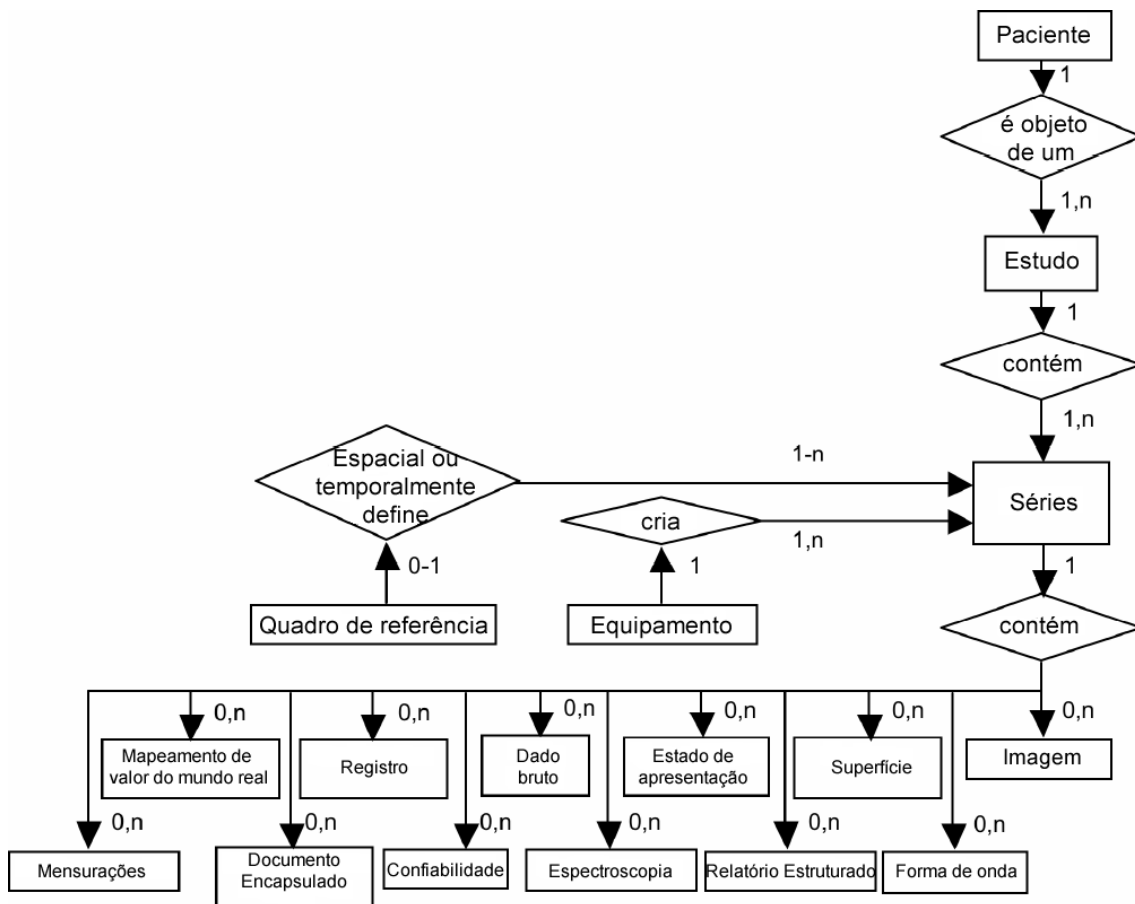


Figura 2.2: Diagrama ER DICOM. Fonte: DICOM, 1993. Parte 3, pg105.

Conforme o diagrama da figura 2.2, e tendo como entidade inicial um paciente, se verifica que ele pode realizar pelo menos um estudo (exame) que por sua vez pode conter pelo menos uma série (uma série é um conjunto de imagens médicas, contendo um plano de enquadramento diferente, por exemplo) que conterá ou não uma das seguintes entidades: Relatório Estruturado, Forma de Onda, Mensurações, entre outros.

A seguir são listadas as definições das principais Entidades de Informação (IE) (DICOM, 1993):

1. **Paciente:** Define as características de um paciente que é submetido a um ou mais estudos.
2. **Estudo:** Define as características de um estudo médico realizado sobre um paciente. Cada estudo está relacionado a um e apenas um paciente.
3. **Série:** Define atributos que são usados para agrupar instâncias compostas em grupos lógicos distintos. Cada série está associada com um e apenas um estudo.
4. **Imagem:** Define atributos que descrevem de forma gráfica um exame realizado. O padrão DICOM suporta imagens gráficas além de formas de ondas também.

Cada uma destas entidades possui grupos de atributos que as descrevem. Esses atributos são organizados logicamente em módulos que podem agrupar informações relativas ao paciente (identificador, nome, idade, data de nascimento, horário de nascimento, entre outros), ao estudo (identificador, data, horário, nome do médico requerente, entre outros), a série (identificador, modalidade, lateralidade, descrição, entre outros), a imagem (número de instância, orientação do paciente, data da aquisição, horário da aquisição, número de linhas e colunas da imagem, distância real horizontal e vertical entre pixels, e informação gráfica dos pixels).

Esses atributos recebem um identificador único e são definidos em função de dois grupos de números, o primeiro indica um mesmo módulo e o segundo sendo um número de ordem. Esse grupo de identificadores recebe o nome de *tag*.

A norma define quais destes identificadores devem ser fornecidos obrigatoriamente e quais são opcionais, dependendo da modalidade de exame a ser executada. Quanto ao preenchimento dos valores desses identificadores, alguns dados são fornecidos automaticamente pelos aparelhos que realizam os exames enquanto outros devem ser fornecidos manualmente pelo operador. Quanto ao tipo de dado, são especificados 27 possíveis tipos de valores de representação (VR) de acordo com o tipo que se espera no campo: data, hora, nomes (tipo *string*), peso (tipo *numérico*) entre outros (PIANYKH, 2008).

A tabela 2.1 abaixo mostra parcialmente os atributos definidos para paciente. Os primeiros quatro números (0010) referem-se ao módulo paciente. A norma define vários módulos de informação para as várias Entidades de Informação (IE - *Information Entities*).

Tabela 2.1: Módulo de Informação do Paciente

Nome do Atributo	Tag	Descrição do Atributo
Nome do Paciente	(0010,0010)	Nome completo do paciente
ID do Paciente	(0010,0020)	Número ou código de identificação primário do paciente pelo hospital
Outros IDs do Paciente	(0010,1000)	Outros números ou códigos usados para identificar o paciente
Sequência de outros IDs do Paciente	(0010,1002)	Sequência de números de identificação ou códigos usados para identificar um paciente, que podem ou não ser humanamente legíveis, e podem ou não ter sido obtidos por um dispositivo implantado ou anexado como um código de barras ou RFID
Tipo de identificador do ID do Paciente	(0010,0022)	Tipo de identificador que foi utilizado. Definido nos seguintes termos: <ul style="list-style-type: none"> • TEXTO • RFID • CÓDIGO DE BARRAS Sempre codificado como um string não

		importando o tipo, não como valor binário
Outros nomes do Paciente	(0010,1001)	Outros nomes usados para identificar o paciente
Nome de nascimento do Paciente	(0010,1005)	Nome de nascimento do paciente
Nome de nascimento da mãe do Paciente	(0010,1060)	Nome de nascimento da mãe do paciente

Fonte: DICOM, 1993. Parte 3, pg 306.

Assim sendo hierarquicamente Módulos de Informação agrupados formam Entidades de Informação que por sua vez, quando agrupados seguindo a norma, formam Objetos de Informação. A decisão de quais Módulos de Informação e Entidades de Informação compõe um Objeto de Informação (IOD) depende da modalidade especificada, ou seja, se o IOD for de um exame depende se este é uma Radiografia Digital, Tomografia Computadorizada, Ultrassonografia e assim por diante.

Objetos de Informação podem ser normalizados, quando refletem uma entidade do modelo de mundo-real DICOM (por exemplo paciente e estudo), ou quando formado por vários IOD normalizados chama-se IOD composto (por exemplo Radiografia Computadorizada, CT, MR, entre outros).

A tabela 2.2 abaixo mostra um CT IOD (Objeto de Informação de Tomografia Computadorizada) composto de forma completa.

Tabela 2.2: CT IOD - Objeto de Informação de uma Tomografia

IE	Módulo de Informação	Política de Uso
Paciente	Paciente	Obrigatório
	Triagem Clínica (indivíduo)	Definido pelo Usuário
Estudo	Estudo Geral	Obrigatório
	Estudo Paciente	Definido pelo Usuário
	Triagem Clínica (estudo)	Definido pelo Usuário
Série	Série Geral	Obrigatório
	Triagem Clínica (série)	Definido pelo Usuário
Quadro de Referência	Quadro de Referência	Obrigatório
Equipamento	Equipamento Geral	Obrigatório
Imagem	Geral Imagem	Obrigatório
	Plano da Imagem	Obrigatório
	Pixels da Imagem	Obrigatório
	Contraste	Condicional (Se for utilizado contraste é obrigatório)

	Imagem CT	Obrigatório
	Plano de Sobreposição	Definido pelo Usuário
	<i>VOI LUT</i>	Definido pelo Usuário
	<i>SOP</i>	Obrigatório

Fonte: PIANYKH, 2008. p. 81.

Os conceitos básicos e nomenclatura apresentados nesta seção serão fundamentais para a compreensão do funcionamento da comunicação e do armazenamento de arquivos DICOM que serão vistos nas próximas seções deste capítulo.

2.2.2 Serviços e Comunicação DICOM

Até agora foram apresentadas apenas as entidades que compõe o modelo de mundo-real introduzido pelo padrão DICOM. Os relacionamentos entre as entidades são especificados por Serviços. Serviços DICOM são utilizados para comunicar objetos de imagens entre dispositivos e realizar operações nesses objetos tais como armazenar ou exibir (HUANG, 2010).

Há duas classes de serviços definidas: Provedor de Classe de Serviço (SCP) e Usuário de Classe de Serviço (SCU). Um IOD e uma classe de serviço formam um Par Objeto-Serviço (SOP), enquanto que a conexão de duas classes de serviço recebe o nome de Entidade de Aplicação (AE). A norma DICOM na Parte 7 define diversas mensagens que podem ser utilizadas na comunicação chamadas de Elementos de Mensagem DICOM (DIMSE), dependendo do tipo de IOD envolvido estas podem ser compostas ou normalizadas. A tabela 2.3 e 2.4 trazem os DIMSE normalizados e compostos, aplicados respectivamente a IOD normalizados e compostos e uma descrição de suas funções.

Tabela 2.3: N-DIMSE - Comandos DIMSE Normalizados

Comando	Função
N-EVENT-REPORT	Reportar um evento
N-GET	Buscar informação de um atributo
N-SET	Modificar o valor de um atributo
N-ACTION	Realizar uma ação genérica, usualmente confirmação
N-CREATE	Criar um IOD
N-DELETE	Deletar um IOD

Tabela 2.4: C-DIMSE - Comandos DIMSE Compostos

Comando	Função
C-ECHO	Testar o estado da conexão DICOM
C-STORE	Armazenar uma instância SOP
C-FIND	Realizar busca de um SOP

	utilizando atributos definidos
C-GET	Transferir um SOP utilizando a mesma associação
C-MOVE	Transferir um SOP utilizando uma segunda associação

Tendo em vista estas primitivas é possível ter um modelo conceitual com as classes que tornam possível a comunicação especificada pela norma DICOM. A figura 2.3 mostra esse fluxo identificando os componentes que foram apresentados ao longo desta seção.

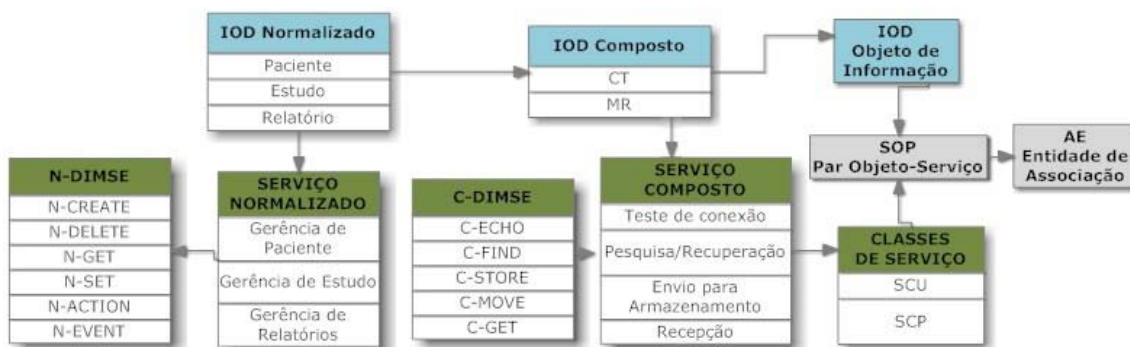


Figura 2.3: Modelo conceitual de comunicação DICOM

Fonte: Adaptado de BUI; TAIRA, 2010. p.125.

O processo de comunicação entre dois dispositivos pode ser dividido para uma melhor compreensão em três fases (BUI; TAIRA, 2010):

1. Associação: Uma AE inicia a associação com o dispositivo de interesse enviando informação sobre a SOP que implementa e o serviço requisitado. O outro AE responde declarando a sua SOP. Se o SCP e o SCU forem compatíveis com os serviço a associação é validada.
2. Processamento do Provedor (SCP): A AE que implementa o SCP constrói o SOP contendo o comando DIMSE e eventuais dados encapsulados. A mensagem é enviada pela rede para a outra AE.
3. Processamento do Usuário (SCU): A AE que implementa o Usuário da Classe de Serviços (SCU) recebe o comando DIMSE e reconstrói a instância SOP e executa as operações recebidas na mensagem.

Os dados transferidos pela AE podem ser armazenados em um arquivo no formato DICOM. A próxima seção apresentará a forma de armazenamento definida pelo padrão.

2.2.3 Formato de arquivo DICOM

Um arquivo no formato DICOM define como encapsular uma instância SOP (HUANG, 2010). Ele pode ser visto como sendo composto por três partes principais, a primeira parte contém meta-informações (opcional), seguido de um cabeçalho com informações sobre o exame, estudo, paciente, entre outras; e a última parte contendo a imagem propriamente dita.

A primeira parte inclui informações de identificação do tipo de arquivo e formato de representação dos valores (VR) que podem ser explícitos ou implícitos, de fato, a parte

de meta-informações não existe para arquivos codificados com VR-Implícito (HUANG, 2010).

Na segunda parte está o conjunto de dados que encapsula o SOP, onde serão armazenados os atributos junto com seus valores enquanto que na terceira parte será armazenada a imagem propriamente dita. É importante notar que um arquivo DICOM pode conter múltiplos frames (quadros) de uma imagem, formando portanto algo como um filme ou uma animação, que serão armazenados como um único conjunto de dados de imagem, neste caso os Módulos de Informação sobre como exibir o filme (tempo entre os quadros, número de quadros, além de outros parâmetros), deverão estar codificados obrigatoriamente.

A figura 2.4 mostra como fica uma distribuição hipotética de dados em um arquivo DICOM com VR-Implícito.



Figura 2.4: Arquivo DICOM. Cabeçalho a esquerda e imagem a direita

O arquivo demonstrado traz no cabeçalho informações sobre o paciente com o identificador (0010) respectivamente nome, identificador do paciente, idade, sexo. As informações sobre o estudo estão listadas sob o identificador (0008) respectivamente hospital onde o equipamento está instalado, nome do médico que requisitou o exame, data do exame. Sob o identificador (0028) existem algumas informações sobre a imagem, número de frames e amostras por pixel respectivamente. Os pixels da imagem vêm codificados logo após o cabeçalho.

Com a implementação de servidores PACS aliados ao padrão DICOM ocorreu a possibilidade do surgimento de diversos visualizadores de exames para múltiplas modalidades bem como da pesquisa de algoritmos automáticos de auxílio ao diagnóstico, como relatado no estudo de Puech et al. (2007) sobre o desenvolvimento de um software de auxílio ao diagnóstico de câncer de próstata utilizando imagens de ressonância magnética e o trabalho de Gomathi e Thangaraj (2010) sobre um método automático de detecção de nódulos pulmonares utilizando tomografias.

2.3 Trabalhos Relacionados

O trabalho de Lundberg (1999) aponta importantes vantagens de um sistema PACS versus um sistema manual com filme impresso. A pesquisa foi conduzida junto à equipe do Sahlgrenska University Hospital na Suécia após a implantação do sistema. Entre os relatos positivos podemos destacar que a "facilidade com que as imagens puderam ser distribuídas via PACS foi muito importante pois aumentou a produtividade dos usuários" (LUNDBERG, 1999, p. 6). Outro ponto importante foi o compartilhamento de exames entre diferentes departamentos que foi facilitado trazendo como consequência a redução do tempo gasto procurando por exames, segundo o chefe de Radiologia o tempo para as reuniões diárias foi reduzido em 30%. Também foi destacado que as

possibilidades de manipulação trazem impacto positivo para o paciente em termos de reduzir a incidência de exames serem repetidos, foi notado também o suporte de PACS ao chamado "co-diagnóstico" no qual médicos podem estar em lugares diferentes fazendo o diagnóstico do mesmo exame simultaneamente e discutindo o resultado por telefone sem a necessidade de deslocar-se até outro ponto do hospital.

Abaixo há uma lista sucinta de vantagens na adoção de um sistema PACS segundo Strickland, 2000:

- Possibilita um lugar seguro, confiável e disponível para armazenamento de exames. Não há o risco de perder um exame como pode acontecer com um filme impresso.
- Terminais simultâneos permitem diagnóstico compartilhado e acesso simultâneo aos dados, algo que não é possível em um sistema de arquivamento de filmes pois há um número reduzido de funcionários que podem fazer a busca.
- PACS permite e assegura que todos os exames de um paciente possam ser retornados numa busca, em ordem cronológica, permitindo adicionalmente a procura por modalidades de exames, médico, entre outros campos.
- Economia com impressão de filmes e suprimentos químicos necessários.
- Facilidade do manuseio e possibilidade de implementação de visualizadores com funções que realcem as imagens e auxiliem o diagnóstico.

A figura 2.5 abaixo exemplifica o uso da ferramenta de mensuração linear em uma imagem de raio-x.

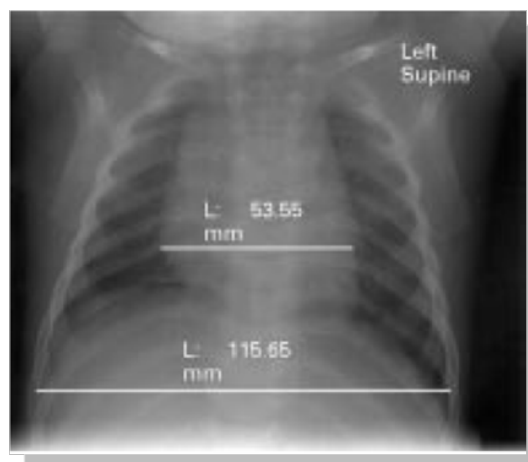


Figura 2.5: Uso da linha para verificar medida cardíaca e torácica

Fonte: STRICKLAND, 2000. p. 2.

Apesar das evidências de vantagens de um PACS há desvantagens relevantes que por muito tempo impediram sua adoção. A pesquisa de Lundberg (1999) aponta algumas delas. Uma das preocupações levantadas é que para "manter a performance técnica adequada é necessário um time técnico no hospital" (LUNDBERG, 1999, pg. 7), e que os radiologistas são dependentes desta nova categoria para suporte ao funcionamento. Ou seja, é necessária a criação de uma equipe de suporte aos serviços computacionais que serão instalados e os radiologistas por consequência acabam ficando dependentes daqueles para a solução de eventuais problemas que possam ocorrer no seu departamento.

Foi levantada também a necessidade de treinamento para o uso do sistema, que deve priorizar duas tarefas principais, a busca por pacientes e exames na base de dados e a correta operação dos visualizador dos exames inclusive com as ferramentas de software disponíveis (PROTOPAPAS, 1996). A questão do treinamento é de grande importância para tratamento correto dos pacientes e a carência de treinamento pode ter implicações legais (PROTOPAPAS, 1996).

O trabalho de Strickland (2000) aponta também para questões de usabilidade do software a necessidade de implementação de interfaces *user friendly* (amigáveis). Além disso há ainda a questão da migração de um fluxo de trabalho com salas para arquivamento, sala de revelação, móveis e equipamentos especializados para filmes, realocação de funcionários que acaba refletindo em um custo financeiro significativo para a implantação (STRICKLAND, 2000). Este custo de implantação, dependendo do tamanho do hospital e da eficiência dos sistemas instalados (por exemplo, caso exista um sistema de revelação e armazenamento eficiente de filmes radiológicos) pode não ser vantajoso num curto ou mesmo médio prazo (MACDONALD; NEVILLE, 2010).

A questão de confiabilidade do sistema também é levantada. "Uma falha em um PACS, diferentemente de uma falha em um equipamento de imagem, tem conseqüências devastadoras no tratamento clínico em que mesmo um atraso mínimo para resolver o problema é inaceitável" sendo necessário a adoção de planos de contingência (STRICKLAND, 2000, pg. 5).

Um dos componentes de maior importância dentro de um serviço PACS é o sistema visualizador, por ser justamente o meio que o médico terá de avaliar um exame e identificar o quadro patológico do paciente. Dentre os diversos visualizadores existentes destacam-se E-Film e OsiriX, por serem, segundo os médicos radiologistas da Santa Casa, os mais robustos e utilizados, trazendo operações de zoom, brilho, contraste, navegação entre imagens de uma série entre outras.

2.3.1 Visualizador de imagens Médicas OsiriX

OsiriX¹ é um visualizador de imagens DICOM suportando múltiplas modalidades de exames tais como: CT, MR, US, PET, entre outras. O programa permite que seja feita a pesquisa por exames em um PACS hospitalar, transferindo e apresentando as séries de interesse para o médico. Além disso permite também que exames sejam visualizados em 3D, em 4D (quatro dimensões) onde a quarta dimensão é a escala temporal, e ainda em 5D (cinco dimensões) onde além da dimensão temporal é possível o alinhamento de outras modalidades, também chamado de composição (ROSSET; SPADOLA; RATIB, 2004). Modalidades típicas de alinhamento são PET-CT e PET-MR.

O projeto de desenvolvimento desta aplicação foi iniciado no ano de 2004, sendo que possui lançamentos de novas versões freqüentemente (GRAHAM; PERISS; SCARSBROOK, 2005). O código fonte é liberado sobre licença GPL sendo portanto considerado Software Livre (LAURENT, 2004). Devido a estrutura de bibliotecas o sistema suporta apenas o sistema operacional MacOS X. A figura 2.6 abaixo mostra as bibliotecas agrupadas em três níveis segundo a abstração que elas provêm.

¹ <http://www.osirix-viewer.com>

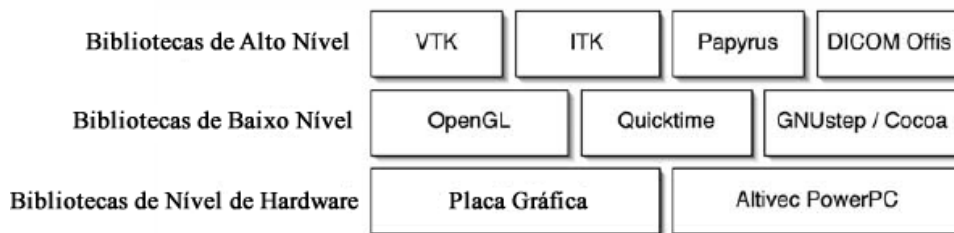


Figura 2.6: Componentes do OsiriX

Fonte: ROSSET; SPADOLA; RATIB, 2004. p. 3.

Conforme pode ser visto na figura 2.6, em alto nível se tem bibliotecas de visualização 3D e reconstrução multiplanar, e segmentação e registros (respectivamente VTK e ITK), de manipulação de arquivos DICOM (Papyrus) e de comunicação (DICOM Offis). Em baixo nível OpenGL, Quicktime e GNUstep/Cocoa usada para criação da interface gráfica com o usuário. Em nível de hardware há funções escritas para tirar proveito diretamente da placa gráfica e do *assembly* da arquitetura, com aceleração de tarefas computacionalmente pesadas como cálculo da reconstrução multiplanar, aceleração gráfica 3D e processamento digital de sinais.

A figura 2.7 abaixo apresenta uma captura de tela do programa, na qual são vistas quatro séries de imagens.

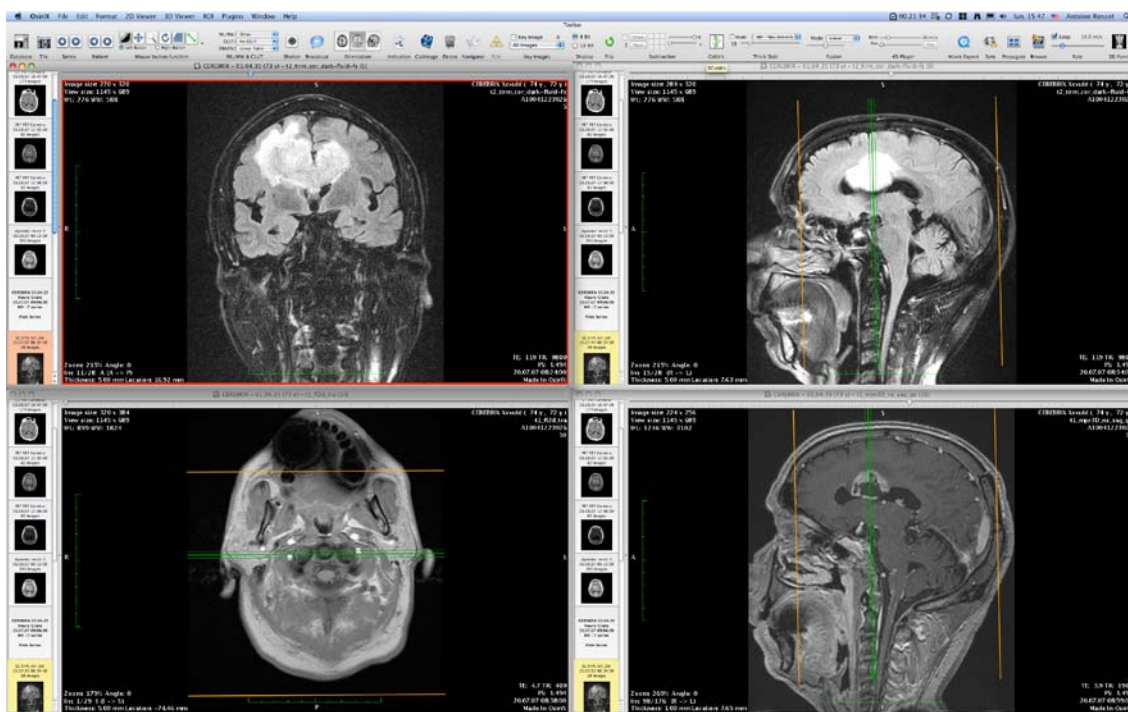


Figura 2.7: Captura de tela do OsiriX

Fonte: OSIRIX, 2010.

Dentre as funções disponíveis no programa, as principais são: suporte a múltiplas modalidades, suporte a JPEG 2000, leitura e escrita de CD-R com exames DICOM selecionados, funções de rede e integração com PACS, MPR e MPR curva, gravação de vídeos com captura da tela.

2.3.2 Visualizador de imagens Médicas E-Film

Assim como o OsiriX, o E-Film² também suporta diversas modalidades de exame, sendo que o sistema pode ser integrado para atualizar PACS eventualmente existentes com uma solução integrada com impressão, gravação e impressão de exames, inclusive com contas de usuário para controle de acesso.

O código fonte do sistema E-Film não está disponível pois o programa é vendido como software proprietário. O programa suporta apenas o sistema operacional Windows. Segundo o site do fabricante licenças comerciais são vendidas a partir de 950 dólares (licença anual) até 2500 dólares (licença ilimitada), existe também uma versão adaptada para dispositivos móveis.

A imagem 2.8, a seguir, traz uma captura de tela do E-Film, sendo vistas duas séries.

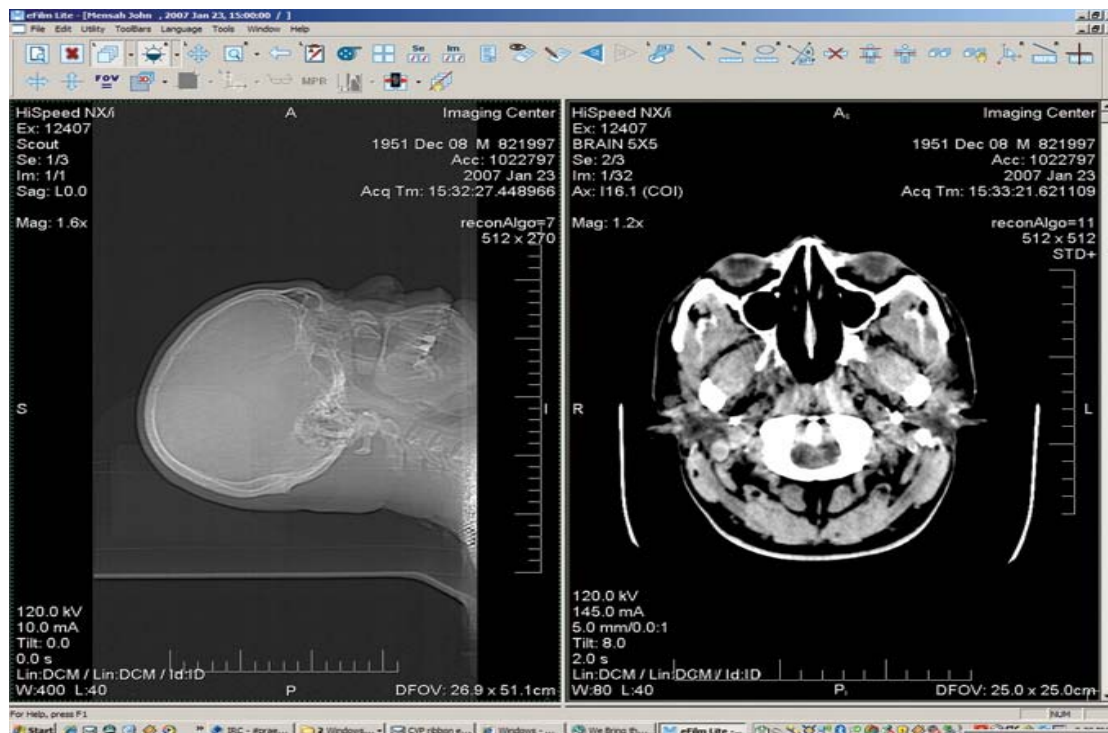


Figura 2.8: Captura de tela do E-Film

Uma lista não exaustiva das principais funções disponíveis no E-Film inclui: visualização MPR de planos ortogonais e oblíquos, gravação de CD-R e impressão de exames, criação de filmes evidenciando regiões de interesse.

2.4 Integração PACS/HIS e radiologia filmless

Juntamente com os avanços da computação na aquisição de imagens médicas também foram desenvolvidos programas de gerenciamento total e apoio a administração hospitalar.

O objetivo desse sistema HIS (Hospital Information System) é integrar tarefas administrativas, financeiras e clínicas em um único sistema em todo o hospital. Esse sistema é capaz de gerenciar informações sobre o paciente como exames realizados, prescrições médicas, laudos, procedimentos ambulatoriais, informações financeiras e de

² <https://www.merge.com/na/estore/content.aspx?productID=342>

cobrança entre outras, de forma a permitir que o hospital tenha controle total dos seus processos de forma informatizada. É importante notar que estes dados podem variar de hospital para hospital e uma série de padrões estão sendo propostos para definir um modelo universal de prontuário eletrônico.

Um dos padrões mais proeminentes neste sentido é o HL7 (Health Level Seven), definido como um padrão para troca de mensagens entre sistemas de tratamento de saúde (HUANG, 2010). O HL7 foi estabelecido em 1987 (HUANG, 2010) e seu nome se origina da sétima camada do Modelo de Referência OSI (Open Systems Interconnection) de interconexão de sistemas (BUI; TAIRA, 2010).

A camada número sete é a camada de aplicação, sendo a de mais alto nível no Modelo OSI (TANENBAUM, 2003), e isso permite entender o objetivo do padrão, de integrar a comunicação entre as aplicações médicas de múltiplos desenvolvedores (HUANG, 2010).

As definições da norma foram "desenvolvidas para facilitar a comunicação de dados em um ambiente de *healthcare* provendo regras para conversão de mensagens abstratas associadas com eventos do mundo real, em informação textual contendo a mensagem real" (HUANG, 2010, p. 271). Para isto são definidos padrões de mensagens e tipos de dados para diversos eventos relacionados ao tratamento médico tais como internação, médico responsável, informações relativas a exames entre outras.

Esta norma permite a integração de diferentes componentes de informação médica tais como: RIS (Radiology Information Systems) que gerencia informações de departamentos radiológicos, tais como cadastros, filas de exames; HIS (Hospital Information Systems) que gerencia informações hospitalares tais como convênios, admissões e internações, cobranças, entre outras; e PACS que armazena os exames propriamente ditos (PIANYKH, 2008).

Historicamente os primeiros trabalhos sobre sistemas de gerenciamento hospitalar datam do final da década de 70 e início da década de 80 mas os resultados eram incipientes e não se tinha certeza dos benefícios que poderiam ser alcançados (JAY; ANDERSON, 1982) embora existissem indícios que viriam a se concretizar nas décadas subsequentes.

O trabalho de Nitrosi et. al. (2007) realizado junto ao hospital Reggio Emilia' Arcispedale Santa Maria Nuova acompanhou as fases da instalação de um serviço PACS e HIS, mensurando quantitativamente os benefícios obtidos após a implantação comparando-os com os dados anteriores a instalação do serviço. O projeto previa a substituição da impressão dos exames por um sistema computadorizado de gerência, armazenamento e visualização dos exames tendo por meta diminuir custos, aumentar a eficiência, aumentar o cuidado aos pacientes e conseqüentemente tornando o ambiente *filmless* (sem impressão de filmes).

Segundo Nitrosi et. al., uma "implementação PACS bem planejada simplifica o fluxo de trabalho dos exames e melhora o cuidado dos pacientes, enquanto produz benefícios financeiros substanciais" (2007, p.1). O fluxo de atendimento citado no estudo consiste de cinco estágios sendo eles: requisição e execução do exame, diagnóstico do exame, disponibilização do exame para consulta, tratamento do paciente, e alta do paciente. Foi reportada uma redução no tempo de *turnaround* médio (tempo entre a requisição do exame e a sua disponibilização final para consulta por médicos) de até 64% conforme a modalidade de exame (veja tabela 2.5).

Tabela 2.5: Comparação de resultados antes e após implantação

Modalidade	Pré-PACS (horas)	Pós-PACS (horas)	Diferença
Raio-X	42.1	15.4	- 64%
CT	40.5	20.0	- 52%
MRI	44.5	32.6	- 28%
Mamografia	41.1	16.2	- 61%

Fonte: NITROSI et al., 2007. p. 4.

Com a implantação do PACS o tempo de disponibilização do exame para consulta por médicos, que antes dependia da impressão e do transporte físico destes, foi reduzido a zero.

Houve redução também nos tempos totais de execução e diagnóstico uma vez que não era mais necessário transportar os exames fisicamente de um ponto a outro do hospital. É importante observar que a redução não é igual para todas as modalidades, mas que em todas foi observado um expressivo ganho conforme os gráficos apresentados na figura 2.9, que mostram a comparação do número de exames executados pelo tempo de espera necessário, comparando os dados coletados antes da implantação (linhas pontilhadas) e após a implantação do sistema de PACS (linhas contínuas).

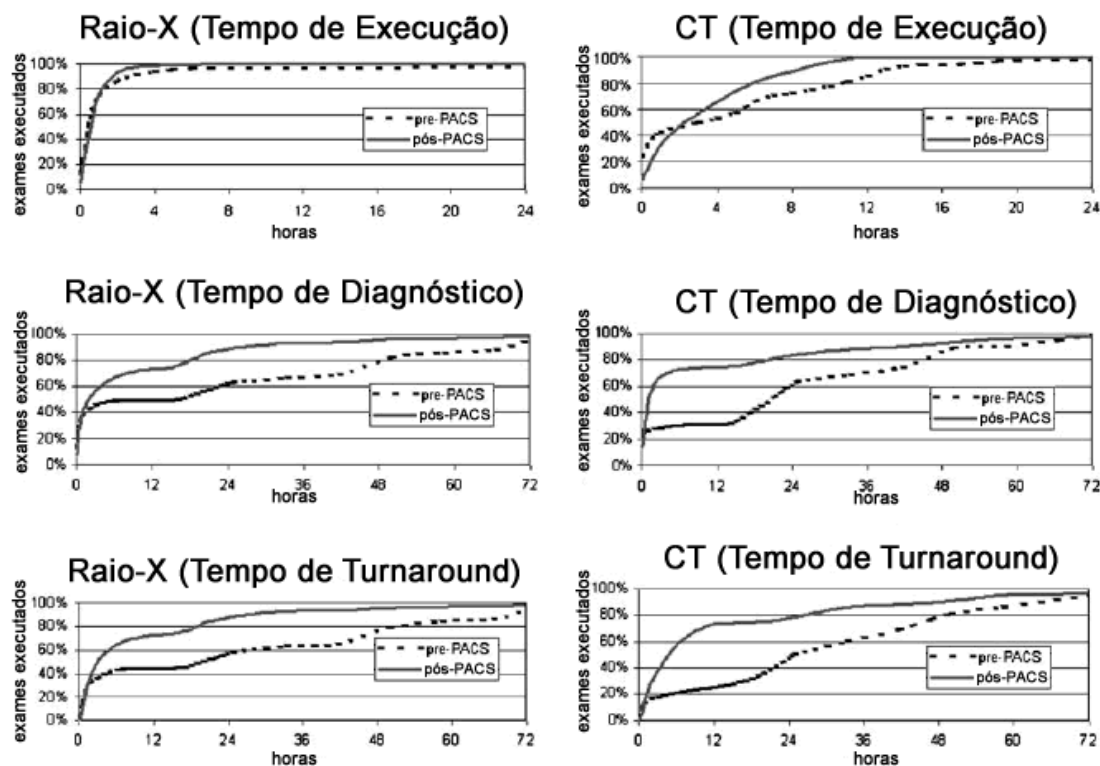


Figura 2.9: Comparação do número de exames realizados pelo tempo de espera

Fonte: Adaptado de NITROSI et al., 2007. p.3.

A redução com filmes foi da ordem de 90% após a introdução, uma vez que exames de mamografia permaneceram sendo impressos. Pacientes que têm alta recebem os exames gravados em um CD-ROM. Todos os exames passaram a ser disponibilizados

na rede do hospital através do PACS. A economia com filmes foi de 840 mil dólares comparado com a era pré-PACS (NITROSI et al., 2007).

O estudo de Ondo, 2004, aponta para uma integração cada vez maior entre sistemas PACS e RIS, segundo o trabalho "as linhas entre PACS e RIS estão desaparecendo a medida que servidores PACS desempenham funcionalidades tradicionalmente de sistemas RIS" (ONDO, 2004, p. 4). Adicionalmente há interesse dos hospitais em integrar todo o sistema hospitalar com o PACS (ONDO, 2004).

Entretanto há ainda diversos pontos que necessitam ser levados a um estudo mais profundo no que se refere a interação com os usuários do sistema, aspectos técnicos de performance e análises científicas quanto a suas vantagens e desvantagens com relação ao método tradicionalmente utilizados. Muitos desses pontos como por exemplo a qualidade da imagem, a forma de manipulação na sala de cirurgia, a necessidade de interação com um computador, ou mesmo protocolos de privacidade tais como o sigilo dos dados do paciente, acabam tornando-se impeditivos de sua adoção em larga escala em toda a rede de saúde.

O objetivo do presente trabalho é investigar como o processo de captura, armazenamento e visualização de exames médicos é atualmente realizado em um hospital de Porto Alegre e propor uma melhoria utilizando um software especialmente desenvolvido para otimizar a visualização, busca e manipulação dos exames. Para validar esta proposta de solução também foi criada uma metodologia de avaliação do sistema com seus usuários.

3 PROPOSTA DE MELHORIA: VISUALIZADOR DE EXAMES

O processo de conferência de exames médicos no bloco cirúrgico da Santa Casa é feito manualmente utilizando-se filmes impressos e negatoscópio para fixação e retro iluminação destes. Em geral o paciente porta consigo os exames realizados anteriormente, bem como o laudo emitido por um médico radiologista.

O processo de conferência e verificação de eventuais fatores anatômicos complicadores ou a avaliação do quadro clínico é feito pelos médicos cirurgiões imediatamente antes do procedimento cirúrgico. Na figura 3.1 está o fluxograma em que está representado o sistema de atendimento típico, desde a admissão do paciente no centro clínico até a realização do procedimento. O sistema apresenta-se de maneira resumida e será detalhado a seguir.

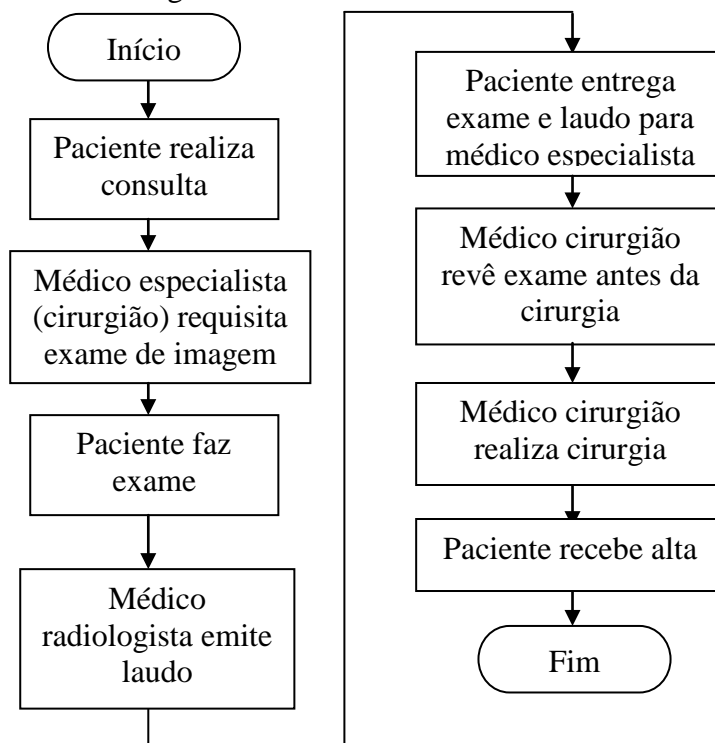


Figura 3.1: Fluxograma representando o sistema de atendimento

Em um primeiro momento o paciente agenda e consulta-se com um médico especialista, a triagem dos casos mais simples e que não precisariam de intervenção é feita em estágios anteriores do atendimento (postos de saúde e clínicos gerais). Num segundo estágio o médico especialista que, via de regra, é também o médico cirurgião, requisita exames mais detalhados para avaliar a complexidade do caso, verificar o

estado patológico do paciente e compreender a melhor forma de intervenção. Após isso o paciente agenda junto ao centro de diagnósticos uma data para a realização do exame. Exames complexos como tomografia e ressonância magnética possuem prazo de espera maior do que exames mais simples como raio-X ou exames laboratoriais. Com base nos dados colhidos do paciente um médico radiologista emite um laudo que compõe o exame. No passo seguinte o médico retorna ao médico cirurgião que por sua vez confere o exame e laudo. Antes da cirurgia o médico visualiza as imagens e laudo obtidos anteriormente, de forma a planejar como será feito o procedimento. Em casos de altíssima complexidade o médico pode escolher ir até o centro de imagens para, junto com o médico radiologista, verificar eventuais particularidades anatômico-patológicas. Concluindo o processo o médico realiza a cirurgia, e eventualmente o paciente recebe alta do hospital.

3.1 Justificativa para implementação de um novo sistema

Considerando o processo atual de atendimento, com métodos manuais e analógicos, fica evidente que uma possível introdução de métodos digitais de visualização poderia trazer mais recursos ao médico. A proposta de melhoria do sistema de atendimento consiste, portanto, na implantação de um aplicativo visualizador de exames para ser utilizado imediatamente antes da cirurgia.

As diversas soluções de visualização existentes foram analisadas, sendo que, como foi exposto no capítulo 2, dois são os principais programas que atenderam parcialmente os requisitos estabelecidos pela equipe médica. Tanto o E-Film quanto o OsiriX possuem os recursos de visualização básica (zoom, contraste e brilho, medição de distâncias e exibição de séries de imagens) e exibição gráfica avançada (MPR e 3D). Entretanto ambos apresentam limitações significativas para sua adoção prática: OsiriX executa apenas em ambiente MacOS X, o que elevaria muito os custos de implantação e impediria que o sistema fosse adotado em outros computadores do tipo PC do hospital; E-Film possui licença proprietária paga, e caso fosse instalado em mais computadores exigiria a compra de licenças para cada um, elevando os custos também.

Sendo assim emergiu a necessidade de criação de um sistema novo, personalizado para as necessidades de visualização pré-cirúrgica.

3.1.1 Contribuição pessoal no desenvolvimento

O desenvolvimento deste sistema foi feito por mim junto ao projeto TVDMED (Customização de um Equipamento para melhoria no atendimento e acompanhamento médico em Telemedicina), sendo que este era composto inicialmente de dois outros pesquisadores.

Minha contribuição foi na pesquisa e codificação de interface de visualização (criação das janelas, colocação dos botões e barras de ferramentas), interface com o usuário (interação com mouse na tela), manipulação dos arquivos de imagem (leitura dos arquivos que compõe um estudo, busca de *tags* e meta-informações para cálculo de distância e informações sobrepostas), parte das ferramentas de manipulação de exames (zoom, brilho e contraste), e a parte de exibição e disposição na tela de múltiplas séries de imagens. Aponto como minha contribuição também a presença e discussão da especificação do sistema através de vários encontros com médicos parceiros do projeto, e a criação de um manual de instalação, configuração e uso do sistema criado.

O sistema está sendo instalado no Hospital Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre, no bloco cirúrgico pulmonar. A Santa Casa compreende um complexo hospitalar que conta com sete hospitais, 5.446 funcionários e 452 médicos contratados, no ano de 2007 totalizou um total de 742.784 atendimentos entre convênios e particulares e SUS (RELATÓRIO ANUAL 2007 SANTA CASA, 2007).

3.2 Requisitos e especificação do sistema

Foi efetuado um levantamento de requisitos com os profissionais do Centro de Diagnóstico por Imagem da Santa Casa através de diversas reuniões nas quais se buscou obter as funções fundamentais para o desenvolvimento de um protótipo a ser utilizado na sala de cirurgia. Juntamente com esses requisitos foram dadas referências de softwares similares que atenderiam parcialmente ao problema proposto, bem como foram indicadas modificações, melhoramentos de forma que sua implementação fosse a melhor possível.

3.2.1 Requisitos funcionais

Os requisitos funcionais do sistema foram acertados inicialmente e refinados através de reuniões subseqüentes. Um conjunto básico de funcionalidades foi selecionado:

- Funções de rede DICOM, transferência e pesquisa;
- Disponibilização de ajustes de brilho, contraste e zoom no exame exibido;
- Ferramentas para medição e anotação;
- Visualização multiplanar de cortes sagital, axial e coronal;
- Visualização de volumes;
- Visualização em televisor de 42 polegadas com resolução de 1920 por 1080 pontos;

O Diagrama de Casos de Uso definidos na linguagem UML (*Unified Modelling Language* - Linguagem Unificada de Modelagem), especifica um sistema de forma que todos os integrantes conseguem entender (ROFF, 2003), ou seja, um canal comum para clientes e desenvolvedores.

O seguinte Diagrama de Casos de Uso (ver figura 3.2) ilustra como o sistema seria utilizado por um médico-cirurgião para o planejamento do procedimento após ter sido pré-configurado por um funcionário da área de suporte técnico de computação:

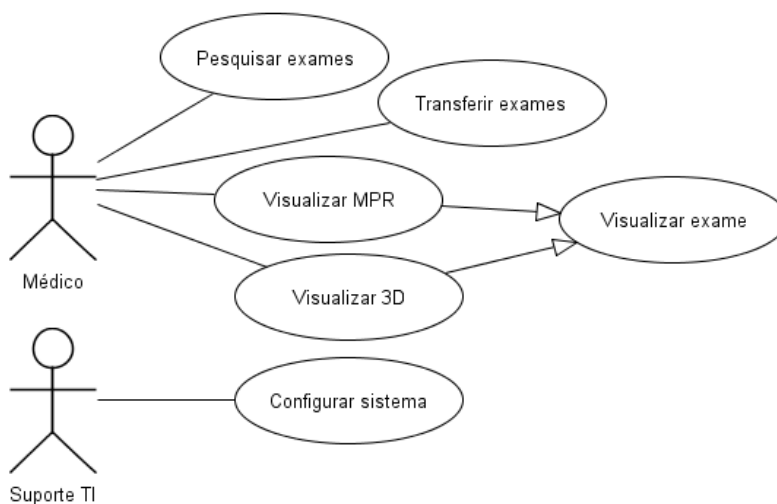


Figura 3.2: Diagrama de casos de uso do sistema

Uma interação típica com o sistema consiste em, a partir da sala de cirurgia fazer uma consulta ao servidor PACS utilizando critérios como: nome do paciente, modalidade e data da realização do exame. Esses dados são convertidos em uma pesquisa DICOM que é feita, através da rede local, no servidor da Santa Casa, retornando uma lista de exames compatíveis com os critérios.

Ao concluir a pesquisa, é possível transferir os exames para a sala de cirurgia, sendo que esses exames ficarão armazenados no computador conectado ao televisor LCD, e as imagens serão visualizadas através do televisor afixado a um suporte na parede. A abordagem de integração do sistema para atender aos requisitos é ilustrada na figura 3.3.

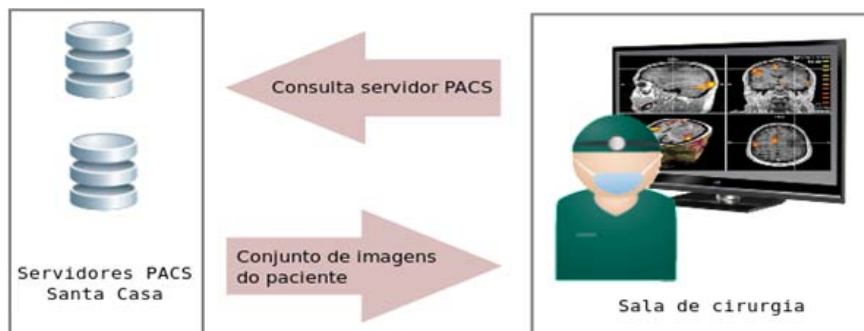


Figura 3.3: Diagrama de comunicação do software

As configurações de rede e de preferências são efetuadas pelos funcionários de suporte a rede da Santa Casa pois, em geral, os médicos não possuem o conhecimento ou mesmo tempo disponível para configurá-lo.

Adicionalmente é possível também copiar exames diretamente para o computador com o visualizador, sem utilizar o recurso de pesquisa em rede, uma vez que é prática usual de Centros de Diagnóstico disponibilizar exames em formato digital através da gravação de CD-ROM.

3.2.2 Requisitos não-funcionais

Além dos requisitos funcionais fundamentais do sistema também foram levantados requisitos não-funcionais que tiveram impacto significativo na implementação do sistema, com destaque para os seguintes itens:

- Tempo de resposta do sistema;
- Facilidade de uso;
- Disponibilização do sistema em código aberto como Software Livre.

Os requisitos não-funcionais de usabilidade foram levados em conta durante toda a fase de desenvolvimento, objetivando tornar a aplicação fácil de usar pelos médicos. Para alcançar isto escolhemos utilizar a mesma interface de botões de um popular visualizador de imagens médicas empregado por médicos em consultórios, pois dessa forma, seria possível minimizar o tempo de treinamento no uso da interface do novo aplicativo além da elaboração de um manual de usuário explicativo (ver apêndice).

É importante ressaltar também que o aplicativo possuía o requisito inicial de executar em um sistema operacional Linux, entretanto este requisito mudou com a evolução do projeto sendo que ao final determinou-se que ele deveria executar em ambiente Microsoft Windows, o que poderia, de fato, ter afetado significativamente seu desenvolvimento não fosse, como veremos na próxima seção, a adoção de bibliotecas multiplataforma durante todo o projeto.

3.3 Implementação do Sistema

No estágio inicial de implementação do sistema foram pesquisadas e definidas a linguagem de programação, bibliotecas e frameworks que poderiam vir ao encontro do objetivo final de atender aos requisitos que estavam sendo colhidos. Características importantes que foram levadas em conta no momento de decidir qual biblioteca ou framework utilizar incluíram a forma de licenciamento, documentação disponível, maturidade do projeto, desempenho e plataformas de execução no caso de ser portátil.

A decisão que seria utilizada a linguagem C++ para desenvolvimento emergiu dos requisitos de desempenho para a aplicação, pelo domínio geral da linguagem pelos outros pesquisadores e também pela existência de bibliotecas DICOM escritas nessa linguagem que haviam sido pesquisadas previamente. A linguagem C++ foi lançada em 1983 estendendo a linguagem C (STROUSTRUP, 2000), possuindo compiladores maduros que geram código executável relativamente eficiente quando comparado com outras linguagens. O sistema de software criado recebeu o nome de Medview.

3.3.1 Detalhamento da Implementação

O Medview pode ser visto como composto por três módulos principais, o módulo de busca e transferência de exames DICOM, que busca um exame e o transfere pela rede; o módulo de visualização de exames, séries de exames, marcação de distância, entre outros; e um módulo de reconstrução de imagem multiplanar e tridimensional. A seguir cada um dos módulos será detalhado.

3.3.1.1 Módulo de busca e transferência

O módulo de busca e transferência de exames DICOM permite que se faça uma pesquisa remota por um estudo recebendo como entrada determinados parâmetros e devolvendo como resultado uma lista de exames compatíveis com os critérios entrados, então o usuário seleciona qual estudo deseja transferir do servidor.

Os dados que podem ser utilizados para a pesquisa são: nome do paciente, sobrenome do paciente, identificador do paciente, descrição do estudo ou exame, modalidade do exame (tomografia, ressonância magnética, entre outras) e intervalo de datas em que o exame foi realizado.

A lista de estudos retornada traz as seguintes informações: nome, data de nascimento, modalidade e descrição. Uma vez que um estudo pode ser composto por múltiplas séries estas aparecem agrupadas como estudos (ou exames) sendo possível expandir e mostrar as séries que o compõe. A figura 3.4 abaixo mostra a tela do programa após ter sido realizada uma pesquisa e os resultados retornados.

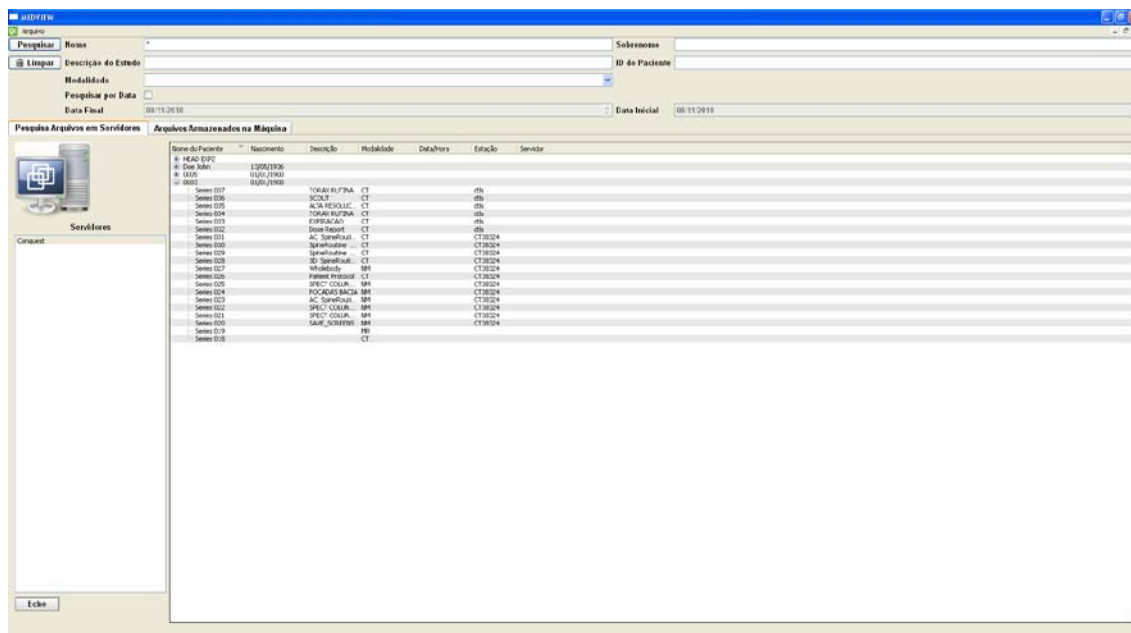


Figura 3.4: Interface de consulta ao servidor DICOM

O sistema agrupa as informações na seguinte hierarquia, que pode ser pensada como a estrutura de diretórios em um sistema de arquivos do computador:

- **Séries:** em alguns exames é necessária a obtenção de várias posições, ou níveis de exposição. Nesse caso, o estudo é dividido em séries, onde cada série corresponde a um conjunto de imagens de determinada posição, por exemplo. Cada série equivale a um subdiretório contendo um conjunto de imagens dentro do subdiretório do estudo em questão.
- **Estudos:** cada paciente pode ter um conjunto de “estudos” (ou “exames”), compostos por uma ou mais séries. Um estudo pode ser o resultado de uma tomografia computadorizada, ou uma ressonância magnética. Dessa forma, é necessário selecionar qual o estudo em questão, que fisicamente equivalem a um diretório na pasta raiz do paciente.

Toda a comunicação remota é realizada neste módulo. Quando o usuário faz uma pesquisa a aplicação executa uma consulta DICOM do tipo C-FIND utilizando os parâmetros entrados pelo usuário. Então o usuário seleciona qual dos estudos que foram retornados deseja copiar para a máquina local, para isso o programa executa um comando C-MOVE. O servidor PACS então executa um comando C-STORE copiando o estudo para o visualizador.

Como pode ser visto na figura 3.5 a comunicação utiliza três mensagens, C-FIND, C-MOVE e C-STORE, notando-se também que os papéis de SCP e SCU são invertidos quando da cópia (C-STORE) dos exames do servidor PACS para o cliente Medview.

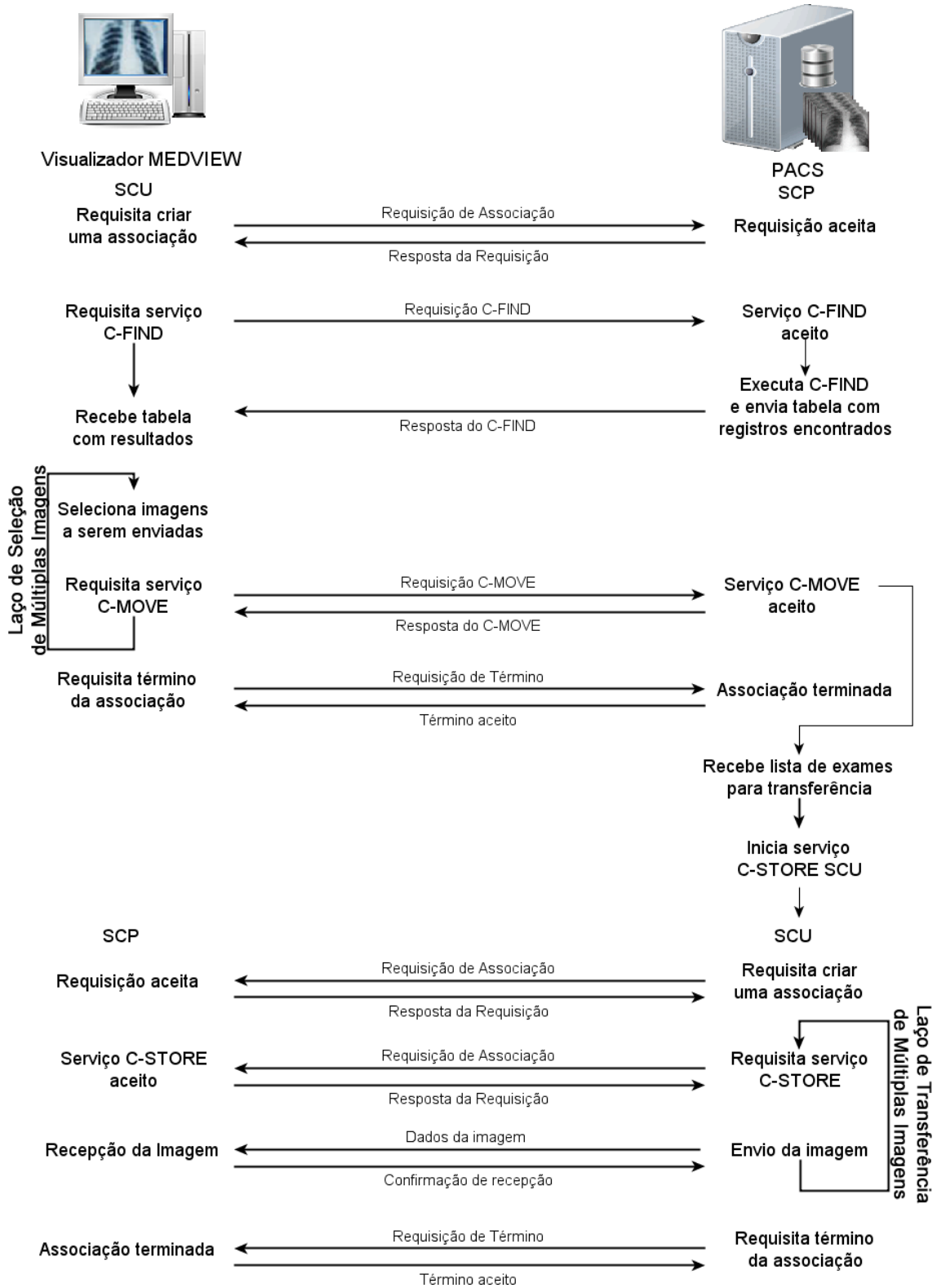


Figura 3.5: Comunicação DICOM Medview-PACS

Portanto o processo de comunicação pode ser detalhado como se segue, em seqüência temporal.

1. O programa cria uma associação com o servidor PACS configurado. Nessa etapa são negociadas as classes SOP que cada parte suporta.

2. Utilizando os dados entrados pelo usuário o programa Medview (SCU) cria uma classe SOP e envia uma mensagem C-FIND para o servidor PACS (SCP).
3. O PACS realiza uma busca em seu banco de dados pelos exames conforme os atributos que recebeu do SCU, e então envia a lista de exames compatíveis com os critérios de busca.
4. O usuário seleciona na lista de exames o estudo que deseja transferir e o Medview envia uma mensagem C-MOVE. O comando C-MOVE recebe como atributo o nome da Entidade de Aplicação (AE) que deverá receber o estudo que foi preenchido pelo SCU e será utilizado como parâmetro do C-STORE futuramente.
5. O Medview (SCU) requisita o término da conexão e o PACS (SCP) a aceita.
6. O servidor PACS inicia uma nova associação, mas dessa vez os papéis são invertidos. O PACS (SCU) deve copiar os exames para o Medview (SCP).
7. O PACS envia a requisição de serviço C-STORE, utilizando como parâmetro os estudos que recebeu na mensagem C-MOVE, bem como o AE de destino (Medview). O processo é repetido para todas as imagens que compõe o exame.
8. A associação é finalizada com uma mensagem partindo do SCU para o SCP.

Os exames são movidos para o computador local e gravados por uma *thread* separada do programa principal e o usuário recebe um *feedback* por meio de barras de progresso do tempo de operação decorrido e do tempo total até a finalização da operação. Ao final da transferência o programa informa se a tarefa foi completada com sucesso e eventualmente muda a aba selecionada na interface para a aba referente aos exames armazenados localmente, que então podem ser visualizados.

3.3.1.2 Módulo de visualização de exames.

O módulo de visualização de imagens tem sua ativação a partir do duplo clique do usuário sobre um item da lista de exames locais. Esta ação cria uma *thread* que busca no diretório pré-configurado, pelo exame selecionado pelo usuário e o carrega em memória. O andamento da operação de carga pode ser acompanhado através de barra de progresso sendo que ao final é criada uma tela onde todas as séries que compõe o estudo são mostradas bem como a meta-informação de cada imagem. Meta-informações são atributos definidos na Parte 3 da norma DICOM e referem-se a dados do exame, da série e da imagem tendo como exemplo nome do paciente, data de aquisição, informação de lateralidade (informação de onde está situada a face anterior, posterior, superior, inferior, lateral esquerda e direita do paciente na imagem), entre outras.

Neste módulo estão disponíveis diversas ferramentas sendo possível selecionar simultaneamente até duas operações, uma para ser realizada com o botão esquerdo e outra com o botão direito do mouse. As operações possíveis de serem executadas com o botão esquerdo são: navegação pelo conjunto de imagens que compõe uma série e a operação de arrastar uma imagem na janela de forma a melhor posicioná-la. Com o botão direito do mouse as seguintes operações são selecionáveis: operação de ampliação da imagem para realçar algum detalhe, operação de mensuração linear que é importante para estimar o tamanho de uma incisão ou diâmetro de uma artéria, operação de mensuração de elipse que permite estimar a área de um nódulo, operação de ajuste de

brilho e contraste que tem importância para realçar diferentes estruturas na imagem e ferramenta de anotação que permite inserir uma nota textual sobre a imagem como forma de ressaltar alguma particularidade. Há também a possibilidade de excluir qualquer um dos itens desenhados: linha, elipse ou nota de texto.

A figura 3.6 abaixo mostra uma captura de tela deste módulo. Percebe-se que este estudo é composto por vinte séries sendo que a figura mostra apenas as quinze primeiras séries. Em cada um dos quadros há um conjunto de imagens sendo possível realizar as operações descritas acima.

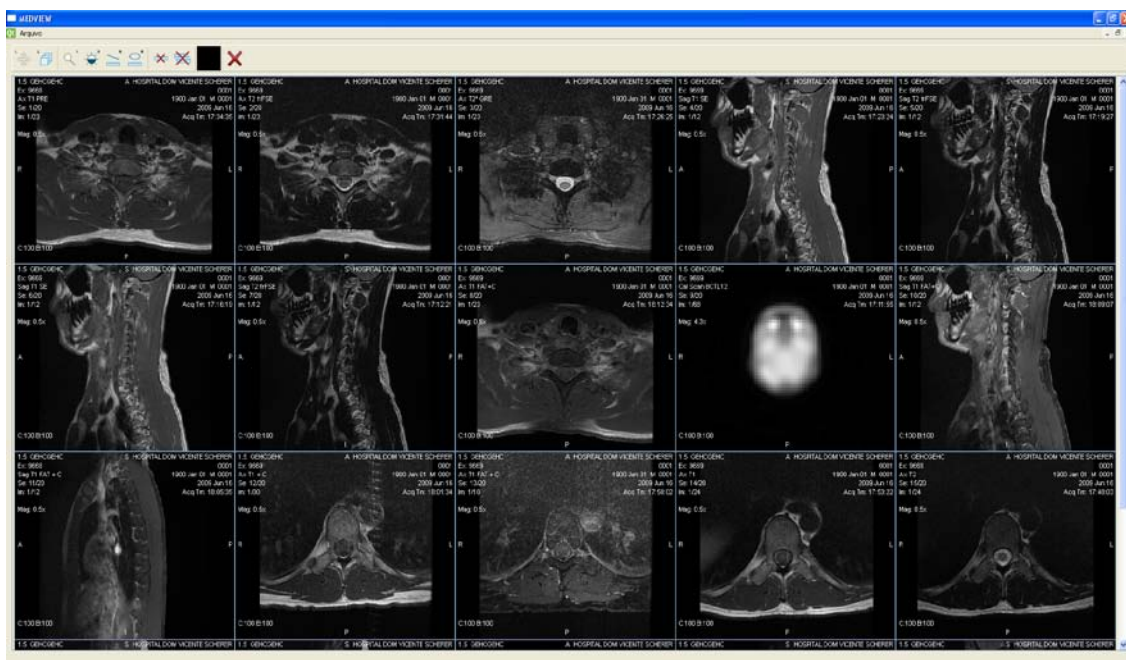


Figura 3.6: Visualização de mosaico de séries

A implementação de cada uma das séries consiste em uma lista composta por imagens oriundas de cada um dos arquivos DICOM componentes. Além da informação gráfica da imagem propriamente dita há também a informação textual sobreposta (chamada no padrão DICOM de *overlay*), que é computada para cada imagem. Esta informação mostrada é de fundamental importância para localização espacial e temporal da imagem que está sendo exibida na janela. A forma de implementação que se utilizou encapsula essa implementação na forma de um componente que pode ser utilizado para visualização em outros aplicativos ou partes do programa como, por exemplo, em uma tela de pré-visualização das séries ou mesmo, conforme foi utilizado, na visualização em tela-cheia que é ativada com o duplo clique do botão esquerdo sobre uma série qualquer. Esta funcionalidade mostra-se importante pois propicia ao médico verificar uma série com detalhes, podendo ainda aplicar todas as operações descritas anteriormente, inclusive aproximar e realçar aspectos anatômicos mesmo muito pequenos. As marcações feitas nesta tela se mantêm consistentes com as definidas no formato de visualização de mosaico de múltiplas séries. A figura 3.7 exhibe uma captura de tela com a utilização desta funcionalidade.



Figura 3.7: Visualização em tela-cheia de uma série

3.3.1.3 Módulo de reconstrução multiplanar e 3D.

O terceiro módulo que compõe o sistema de visualização é o módulo de reconstrução multiplanar e tridimensional. Este módulo permite a reconstrução de múltiplos planos de visualização a partir de uma série de imagens em um único plano específico. A função é ativada com o duplo clique do botão direito do mouse sobre uma série de interesse. As reconstruções são então calculadas com base nesta série, sendo exibida uma barra de progresso para acompanhamento do processo. A seguir é exibida uma tela subdividida em quatro janelas. As três primeiras janelas exibem a série vista a partir dos três planos anatômicos fundamentais: sagital, coronal e transversal (GRAY, 1918); definidos pelos anatomistas como forma de dividir o corpo humano (GYLYS; WEDDING, 2009).

A figura 3.8 mostra os planos anatômicos principais e também os pontos de referência superior e inferior, medial e lateral, e, anterior e posterior (GYLYS; WEDDING, 2009), que são utilizados para referência espacial de uma imagem com relação ao corpo. A informação referente a estes pontos é sobreposta as imagens exibidas conforme exigência da norma DICOM (DICOM, 1993).

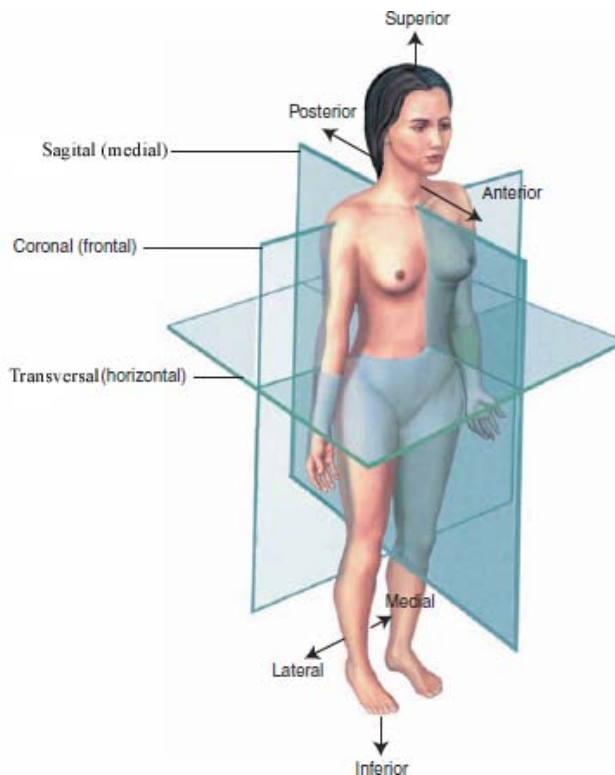


Figura 3.8: Planos anatômicos fundamentais.

Fonte: GYLYS; WEDDING, 2009. pg 44.

Isto permite que o médico, ao identificar uma patologia em uma série de imagens, feitas a partir de um ângulo, consiga também ter a visão a partir de outros ângulos que podem não terem sido obtidos no exame, o que pode ser benéfico para o planejamento do procedimento cirúrgico, uma vez que anomalias podem ser difíceis ou até impossíveis de serem identificadas quando se tem disponível apenas um plano (GYLYS; WEDDING, 2009). Na figura 3.9 é apresentado um exame de ressonância magnética visto em três planos distintos.

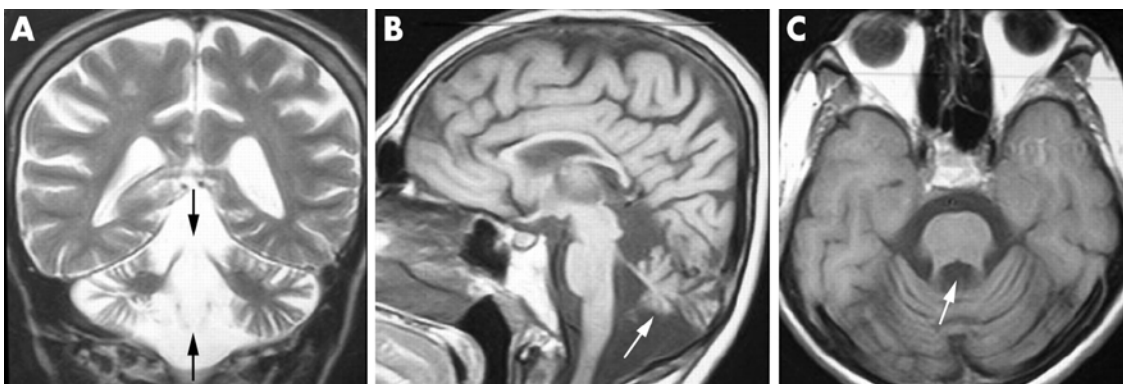


Figura 3.9: Imagens de uma Ressonância Magnética mostrando três vistas: plano coronal (A), sagital (B) e transversal (C). Fonte: TÜRKMEN et al., 2006. pg 4.

Além dos três planos há uma quarta janela com a visualização tridimensional. A visualização tridimensional pode auxiliar o médico a ter uma visão geral do quadro clínico. É exibido um componente que pode ser transladado, rotacionado e aproximado. A navegação pelas imagens de uma série em uma das janelas de visualização reflete-se automaticamente em todas as outras de forma, por exemplo: observações feitas na janela tridimensional refletem-se na janela com o plano sagital e vice-versa.

A figura 3.10 abaixo mostra uma captura de tela desta visualização, mostrando um tórax visto nos planos transversal, sagital e coronal respectivamente, da esquerda para a direita, de cima para baixo e, na quarta janela, a visão tridimensional. Além das operações já citadas é possível maximizar qualquer uma das janelas para um exame mais detalhado e executar operações de ajuste de brilho e contraste.

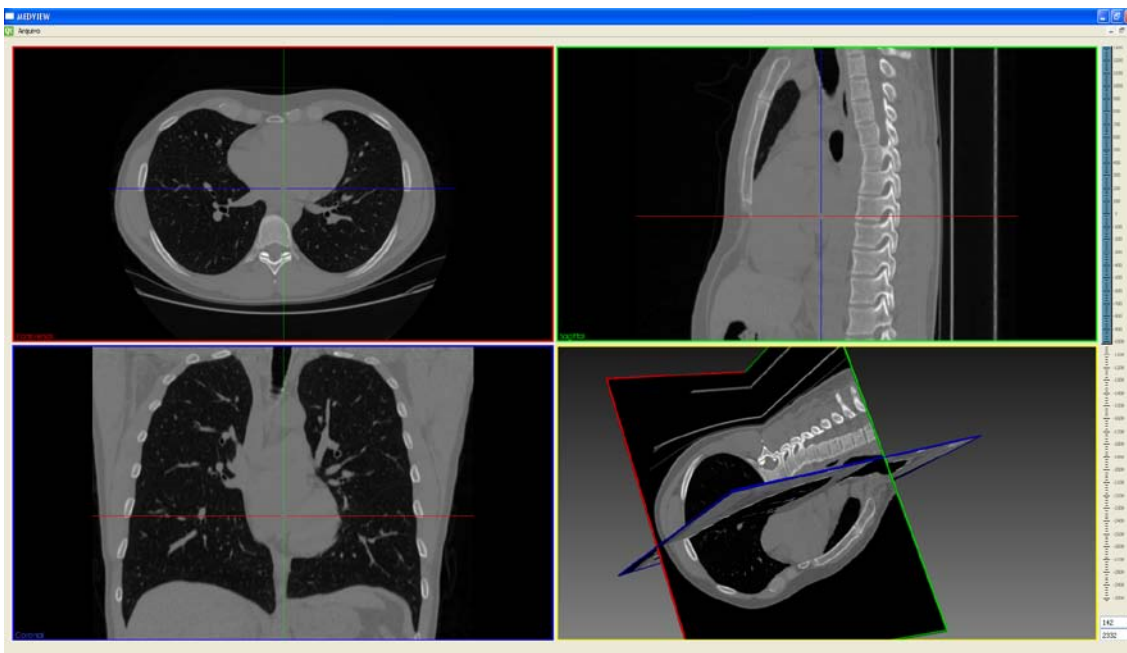


Figura 3.10: Tela multiplanar e tridimensional

A geração dos outros planos a partir de um plano original é possível de ser calculada geometricamente devido a informações de distância entre fatias, espessura das fatias e posição, inseridas pelo equipamento que realiza o exame no arquivo DICOM. Estes parâmetros estão definidos na Parte 3 da Norma no módulo de informações do plano da imagem e dos pixels de uma imagem (DICOM, 1993). Além de serem definidos genericamente para todas as modalidades eles também são detalhados para cada uma das modalidades, por exemplo, CT e MR (DICOM, 1993).

3.3.2 Framework de desenvolvimento

Devido aos requisitos iniciais do projeto identificou-se a necessidade do uso de um framework de desenvolvimento já que várias funções requeridas como, por exemplo, comunicação pela rede, interface gráfica para o usuário, e gerência de Entrada/Saída de arquivos poderiam ser disponibilizadas, não necessitando ser implementadas.

Dentre os frameworks disponíveis para Linux verifica-se a existência de duas alternativas que, por estarem em constante atualização, possuem um conjunto bastante significativo de recursos e rotinas, licenças livres e possuem suporte à linguagem escolhida seriam interessantes ao projeto, portanto foram pesquisados os frameworks GTK+³ e Qt⁴.

GTK+ (GIMP Toolkit) é um framework desenvolvido para permitir a criação de interfaces gráficas com o usuário (GUI), tendo como motivação inicial a criação de um

³ <http://www.gtk.org/>

⁴ <http://qt.nokia.com/>

programa de edição de imagens chamado de GIMP (GNU Image Manipulation Program) (KRAUSE, 2007). Foi utilizado primeiramente no sistema operacional Linux mas hoje encontra versões para Microsoft Windows, BeOS, Solaris, Mac OS X, entre outros (KRAUSE, 2007).

O GTK+ foi escrito em linguagem C, mas possui suporte a interface C++ através do projeto gtkmm⁵. O objetivo do gtkmm é prover um encapsulamento a uma série de funções do GTK+ para criação e gerenciamento de janelas e interação com o usuário. Para isto são providos métodos de criação de botões, componentes gráficos, exibição de imagens entre outros.

O GTK+ e o gtkmm são distribuídos sob licença LGPL (Lesser General Public License) sendo, portanto considerados como software livre (LAURENT, 2004). Elas são licenciadas desta forma para poderem ser ligadas a códigos com licenças proprietárias sem a necessidade de disponibilização de código fonte (LAURENT, 2004).

Os recursos disponíveis no framework são basicamente os de manipulação gráfica. Outros recursos que poderiam ser de grande importância como comunicação por rede, gerenciamento de *threads* são contemplados por bibliotecas separadas que podem ser integradas ao projeto, levando-se em conta, entretanto questões de dependência entre as plataformas particulares de cada biblioteca.

O Qt é um framework desenvolvido nativamente em C++ como forma de estender a própria linguagem. Foi criado pela empresa norueguesa Trolltech (BLANCHETTE; SUMMERFIELD, 2008). A primeira versão do Qt foi lançada em 1995 e durante os anos seguintes ele sofreu sucessivas melhorias chegando atualmente a versão 4 possuindo cerca de 500 classes e mais de 9000 funções (BLANCHETTE; SUMMERFIELD, 2008), entre as bibliotecas incluídas estão: *multithreading*, gerenciamento de gráficos 2D e 3D com OpenGL, integração com banco de dados, e suporte a múltiplos protocolos de rede (HTTP, FTP e DNS).

Portanto verifica-se que diferentemente do gtkmm o Qt oferece uma rica biblioteca de classes além das bibliotecas para criação de interface gráfica com o usuário. O conjunto de classes foi dividido em diversas bibliotecas permitindo que o desenvolvedor utilize apenas as partes de interesse (BLANCHETTE; SUMMERFIELD, 2008).

Sendo um framework de desenvolvimento multiplataforma, permite escrever aplicações para desktop, dispositivos móveis e sistemas embarcados, sem necessidade de reescrever o código fonte, sendo necessário, entretanto, recompilar para a plataforma de destino. Há suporte para as seguintes plataformas: Windows, Linux, Mac OS X, Linux e Linux embarcado, Windows CE, Symbian e MeeGo (BLANCHETTE; SUMMERFIELD, 2008).

O Qt possui duas formas de licenciamento, podendo ser adquirido sob licença LGPL, ou sob licença comercial paga para o caso de desenvolvedores que não queiram compartilhar o código fonte.

Dentre os dois frameworks analisados, por apresentar uma biblioteca mais rica, por possuir uma documentação maior e melhor estruturada e também por possuir suporte às

⁵ <http://www.gtkmm.org>

bibliotecas de visualização DICOM, o Qt foi escolhido como framework de desenvolvimento do projeto.

3.3.3 Bibliotecas DICOM

Pela complexidade e extensão do padrão DICOM, pelo requisito de interoperabilidade do sistema na rede hospitalar já instalada, e por não existir uma implementação de referência provida pela norma verificou-se a necessidade de pesquisar bibliotecas DICOM disponíveis que melhor atendessem aos requisitos.

As duas principais bibliotecas analisadas foram DCM4CHE⁶ e DCMTK⁷ (DICOM Toolkit). A tabela 3.1 abaixo vista em Vásquez, et al. (2007) resume as suas principais características qualitativamente.

Tabela 3.1: Comparação de entre frameworks DICOM

	DCMTK	DCM4CHE
Documentação	Abrangente	Insuficiente
Linguagem de programação	C++	Java, XML
Manutenibilidade	Alta	Alta
Sistemas operacionais	Windows, Linux, Unix	Multiplataforma
Modelo Cliente/Servidor PACS	Como servidor apenas Modality Worklist e Storage	Suporte completo
Modalidades DICOM	US, CT, MR, SC, DX, XA, VL, RT	US, CT, MR, SC, DX, XA, VL, RT

Fonte: Adaptado de VÁZQUEZ et al., 2007. p. 1.

A biblioteca DCM4CHE foi desenvolvida na linguagem Java e, conforme pode ser visto na tabela 3.1 possui um suporte um pouco mais abrangente ao padrão DICOM do que o seu concorrente DCMTK. Apesar de o projeto ter sido definido inicialmente a linguagem como C++ existia a possibilidade de rever esta premissa.

O fato de ser implementado em Java permitiria que o código criado com este framework pudesse ser executado em múltiplas plataformas sem a necessidade de recompilação, incluindo Linux e Unix e plataformas móveis, entretanto poderia ocorrer perda de desempenho em comparação com a implementação em C++.

O DCM4CHE é distribuído sob licenças livres LGPL, GPL e MPL (Mozilla Public License) (DCM4CHE, 2010). A licença GPL busca garantir que o código-fonte do programa seja distribuído e possa ser modificado pelo licenciado, que deve distribuir o software sob as mesmas condições (LAURENT, 2004). A licença MPL é uma modificação da GPL que permite que o código licenciado sobre a MPL seja unido a código licenciado sob outras licenças (o código de uma aplicação como, por exemplo, o

⁶ <http://www.dcm4che.org/>

⁷ <http://dicom.offis.de/>

DCM4CHE poderia fazer parte de um sistema maior), ao contrário da GPL que explicitamente proíbe este tipo de uso sem a liberação do código (LAURENT, 2004).

O DCMTK é uma coleção de bibliotecas e aplicações que dão suporte a uma grande parte do padrão DICOM (DCMTK, 2010). Inclui funções para examinar, gerar e converter arquivos de imagem para o padrão DICOM. O DCMTK também possui funcionalidades de manipulação de mídia off-line, possibilitando enviar e receber arquivos DICOM através de uma conexão de rede. É escrito em uma mistura de ANSI C e C++ (DCMTK, 2010).

As bibliotecas DCMTK têm sido utilizadas em inúmeras aplicações DICOM, em hospitais e empresas em todo o mundo para uma grande variedade de aplicações que vão desde testar produtos, projetos de pesquisa, protótipos e até produtos comerciais. Segundo Vázquez et al. (2007), o DCMTK, entre os frameworks pesquisados (DCM4CHE, DCMTK, Conquest), é o framework ideal para o desenvolvimento de aplicações clientes. A forma de distribuição é mais liberal do que a do DCM4CHE, sendo feita através de uma licença semelhante a BSD. A licença BSD tem por intenção garantir que a redistribuição do código ou do executável gerado mantenha o *copyright* da licença original. A licença permite que o código seja inserido em outros trabalhos e distribuído até mesmo sob licença proprietária sem a necessidade de disponibilizar alterações feitas ao código original, como requerido pela mais restritiva GPL (LAURENT, 2004). Uma vez que a licença leva o nome do proprietário do *copyright* é necessário modificar já que o texto original era da Universidade da Califórnia, Berkley, sendo portanto chamadas licenças similares a BSD ou *BSD-like*.

Utilizando a pesquisa de Vázquez et al. (2007) e tendo em vista a baixa qualidade da documentação do DCM4CHE em comparação com a oferecida pelo DCMTK, que possui fórum atualizado constantemente, classes bem documentadas e exemplos funcionais de múltiplas aplicações, a decisão foi pelo último.

A limitação do módulo servidor do DCMTK não seria relevante à nossa aplicação uma vez que as funções utilizadas seriam as do módulo cliente.

3.3.4 Bibliotecas de geração MPR e 3D

Técnicas de segmentação de imagens são usadas frequentemente para o diagnóstico e tratamento de doenças (SERTEL; BOZDEMIR; ÖZKURT, 2010) e isto foi evidenciado nas entrevistas com os médicos radiologistas ainda quando do levantamento de requisitos, tendo sido identificada a necessidade de implementar uma forma que permitisse aos médicos uma visualização avançada do exame, indo além daquilo que poderia ser comparável a exibição de um filme posto em um negatoscópio, utilizando recursos computacionais de processamento de imagens.

Uma vez que esta função traria aos médicos cirurgiões uma experiência de visualização bastante diferente daquela encontrada no exame num negatoscópio ficou clara a necessidade de incluir um módulo adicional ao módulo de visualização simples de um estudo ou exame. Dessa forma contemplou-se tanto a visualização básica de um estudo (múltiplas séries) quanto a visualização avançada com a reconstrução multiplanar e 3D, facultando ao médico usuário a utilização dos módulos que acharem mais adequados, segundo seus conhecimentos e necessidades de avaliação.

Para o desenvolvimento do módulo de visualização multiplanar e 3D da aplicação optou-se pela biblioteca básica para segmentação e registro ITK⁸ (Insight Segmentation and Registration Toolkit).

O ITK é uma biblioteca com código aberto para processamento de imagem, segmentação e registro (IBÁÑEZ et al., 2005). Desenvolvida em C++ pode ser compilada em Windows, Mac OS X, Linux e Unix (IBÁÑEZ et al., 2005), sendo que sua forma de licenciamento é por uma licença semelhante à BSD, portanto, compatível com os requisitos de distribuição do nosso projeto.

Também foi utilizado um framework para processamento interativo de imagens chamado MITK⁹, que integra ao ITK uma biblioteca de renderização de volumes, modelagem, e visualização científica chamada VTK¹⁰. O VTK (Visualization Toolkit) é uma biblioteca livre escrita também em C++ como parte do livro “The Visualization Toolkit An Object-Oriented Approach to 3D Graphics” de autoria de Will Schroeder Ken Martin e Bill Lorensen, sendo posteriormente oferecida livremente sob uma licença BSD. Atualmente é utilizada com sucesso para visualização em diversos aplicativos, inclusive comerciais, tais como: ParaView, VisIt, MayaVi e OsiriX (VTK, 2010).

A biblioteca MITK (The Medical Imaging Interaction Toolkit) visa auxiliar o desenvolvimento de aplicativos de imagens médicas com um alto grau de interação, combinando as funcionalidades dos frameworks VTK e ITK (MITK, 2010).

O MITK é uma biblioteca de código livre, programada em C++ para o desenvolvimento de aplicativos de imagens médicas, podendo exibir informações sincronizadas em várias janelas com reconstruções multiplanares (coronal, sagital e axial) e reconstruções curvas (MITK, 2010).

Assim como seus principais componentes, ITK e VTK, o MITK é distribuído sob licença semelhante à BSD, da mesma forma o MITK também pode ser compilado e executado em múltiplos sistemas operacionais como Microsoft Windows, Mac OS X, Linux e Unix.

O estudo comparativo feito por Bitter et al. (2007), de quatro frameworks para processamento e visualização de imagens serviu de base a decisão de adotar o MITK. Os dois critérios adotados para a seleção dos frameworks participantes do estudo de Bitter et al. foram a disponibilização gratuita do framework em alguma versão, não importando o tipo de licença, e o outro critério foi a existência de uma interface para o ITK (BITTER et al., 2007). O estudo avaliou aspectos voltados ao desenvolvedor e ao usuário final. Os quatro frameworks escolhidos foram: SCIRun, MITK, VolView, MeVisLab. Observando-se que o módulo de visualização MPR (multiplanar) e 3D (tridimensional) seria um recurso que, apesar de ser de fundamental importância (SERTEL; BOZDEMIR; ÖZKURT, 2010), seria bastante avançado e, pela equipe não possuir grande experiência na implementação de aplicações na área de processamento de imagens e pelo grande esforço investido na implementação deste módulo optou-se por privilegiar bibliotecas que favorecessem o desenvolvedor, levando-se em conta também na escolha aspectos relativos a interação do usuário com o sistema através da

⁸ <http://www.itk.org/>

⁹ <http://www.mitk.org>

¹⁰ <http://www.vtk.org>

avaliação da interface gráfica gerada pelo framework, de acordo com os requisitos não-funcionais de facilidade de uso.

A tabela 3.2 abaixo aponta os resultados de pesquisa encontrados do ponto de vista do usuário desenvolvedor do sistema, enquanto que a tabela 3.3 aponta características da GUI comparadas entre os frameworks.

Tabela 3.2: Comparação de entre quatro frameworks de visualização

SCIRun	MITK	VolView	MeVisLab	Critério de Avaliação do Desenvolvedor
Recursos do Framework de Desenvolvimento de Aplicações				
+	-	o	+	Programação Visual (protótipo rápido, mudança de parâmetros sem recompilação)
o	+	-	o	Facilidade para adicionar uma nova classe ITK
Suporte a Solução de Problemas				
o	+	-	+	Ratreamento de erros em tempo de execução
+	o	o	+	Ratreamento de erros semântico
Licença				
+	+	o	o	Código livre como ITK ou apenas liberado para execução
Suporte a Sistemas Operacionais				
+	+	o	o	Windows, Linux, Mac OS X, IRIX (Unix)

Fonte: BITTER et al., 2007. p. 8.

Tanto o SCIRun quanto o MeVisLab provêm um paradigma de programação visual do fluxo de dados onde tarefas comuns são facilmente implementadas e outras tarefas podem ser alcançadas com a escrita de código para módulos customizados (BITTER et al., 2007). Apesar desta desvantagem o MITK possibilita um acesso simples às classes ITK, devido a forma com que foi implementado (combinando ITK e VTK), permitindo a implementação de algoritmos personalizados de segmentação e registro.

Concomitantemente com a possibilidade maior de customização, os frameworks MITK e MeVisLab apresentaram o recurso de rastrear os erros durante a execução, através de um *debugger* interativo, podendo-se verificar passo a passo a linha de código executada, valores de variáveis, o disparo de funções e procedimentos entre outras funcionalidades. A existência deste tipo de recurso em uma biblioteca é importante pois facilita o trabalho de codificação e aumenta a produtividade do programador (HANSON; ROSINSKI, 1985).

Outro aspecto importante e relevante aos requisitos do nosso projeto é a forma de licença. Assim como o SCIRun o MITK também é licenciado como código livre, com uma licença similar a BSD, o mesmo tipo de distribuição do ITK e VTK.

A avaliação dos frameworks do ponto de vista da experiência do usuário é mostrada na tabela 3.3, o MITK suporta a visualização de dados em múltiplas janelas e foi avaliado positivamente junto com o VolView como tendo aspecto profissional e apresentando estabilidade. A possibilidade de utilizar a janela de visualização como um componente único agregado ao sistema facilita o reuso em outras aplicações.

Tabela 3.3: Comparação de entre quatro frameworks de visualização

SCIRun	MITK	VolView	MeVisLab	Critério de Avaliação do Desenvolvedor
Recursos de Interface Gráfica com o Usuário (GUI)				
+/o	+	o	+/o	Eficácia da aplicação GUI criada (multi-janelas, ordenação dos planos)
+/o	+	-	+/o	Aparência da aplicação GUI e estabilidade
+/-	+	o	+/-	Nível de experiência necessária para criar uma aplicação
+	+	o	+/o	Disponibilidade de componentes (<i>widgets</i>) para a aplicação GUI

Fonte: Adaptado de BITTER et al., 2007. p. 8.

O MITK permite construir "aplicações com GUI customizado que mostram apenas o que o usuário necessita, otimizando o fluxo de trabalho e minimizando a experiência requerida para uso da aplicação" (BITTER et al., 2007, p.8).

Segundo Bitter et al. (2007), dentre os frameworks de processamento de imagem e visualização, o MITK é a melhor escolha para desenvolver aplicações de código aberto com interface gráfica, que necessitam de pequenas modificações depois de criadas, além disso, é o framework mais indicado para desenvolver aplicativos para usuários finais.

3.4 Segmentação e visualização de imagens médicas

Segundo Ibáñez et al. a "segmentação é o processo de identificar e classificar dados encontrados em uma representação digitalmente amostrada" (2005, p.5), ou seja o conceito refere-se ao processo de particionar os pontos de uma imagem em grupos segundo uma classificação de interesse. No caso de uma imagem médica um dos objetivos seria o de agrupar tecidos semelhantes como ossos, músculos, órgãos, tumores, entre outros, podendo desta forma servir a diferenciação de estruturas anatômicas. Como exemplo de aplicação está a separação das estruturas neuronais do cérebro como a matéria cinzenta da matéria branca (SERTEL; BOZDEMIR; ÖZKURT, 2010).

Outra tarefa importante oferecida pela biblioteca ITK complementar a segmentação é o registro. O "registro é a tarefa de alinhar ou desenvolver as correspondências entre os dados" (IBÁÑEZ et al, 2005, p.5). Na área médica, um exame de tomografia computadorizada pode estar alinhado com um exame de ressonância magnética de forma a ser possível combinar a informação contida em ambos (IBÁÑEZ et al, 2005), também é possível combinar exames com alto grau de ruído e baixa resolução espacial

como o PET (Positron Emission Tomography), que entretanto é capaz por exemplo de detectar sutis mudanças neuronais típicas de doenças neurodegenerativas, com exames comparativamente mais precisos como CT e MR (XIA et al, 2008).

A combinação de uma tomografia computadorizada com uma tomografia por emissão de pósitrons (PET) pode resultar em um exame com baixo ruído (VAQUERO et al., 2009). Quando combinada com ressonância magnética os resultados podem ser ainda melhores devido ao maior contraste deste exame em relação ao diferentes tecidos do corpo humano relativamente a combinação com CT (VAQUERO et al., 2009).

Um importante desafio de exames que reúnem múltiplas modalidades como PET-CT e PET-MR é o potencial de desalinhamento entre as imagens adquiridas. Mapas gerados por exames como CT e MR servem como base para atenuação do ruído da imagem capturada pelo PET. Se houver desalinhamento entre as duas modalidades de exame, o resultado do final poderá ser comprometido sendo necessário refazer o exame (KHURSHID; BERGER; MCGOUGH, 2009).

O uso das informações constantes no cabeçalho DICOM relativas a distância e localização tais como resolução da imagem, tamanho do pixel, espaçamento entre as fatias, e localização tridimensional são utilizadas no cálculo da correspondência entre os exames, o resultado final desta correspondência pode ser usado como realimentação para um novo processo de segmentação, com objetivo de identificar áreas semelhantes e diferenciá-las de áreas anômalas (KHURSHID; BERGER; MCGOUGH, 2009).

A implementação destas rotinas avançadas de visualização pode aumetar a área de atuação do programa Medview, além do escopo do uso em salas de cirurgia.

4 METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO

A formulação de uma metodologia de análise e validação da proposta de solução para visualizar imagens médicas em Bloco Cirúrgico foi desenvolvida por mim através de reuniões com médicos especialistas, cujo objetivo é a comparação do processo manual versus a solução desenvolvida e apresentada no capítulo três.

Para essa comparação foi identificada a necessidade da avaliação com dois grupos distintos de usuários: médicos cirurgiões e médicos radiologistas, uma vez que é importante levar em consideração que há papéis distintos desempenhados pelos médicos dentro do ambiente hospitalar e particularmente as duas especialidades citadas exercem tarefas bem distintas: médicos cirurgiões, que utilizarão o software na sala de cirurgia, em geral revendo o exame e o laudo do paciente antes do procedimento cirúrgico, e médicos radiologistas, que são responsáveis pelos diagnósticos e por selecionarem as séries de exames relevantes necessárias para conferência dos médicos cirurgiões.

Médicos cirurgiões seriam os principais usuários do sistema e, portanto, poderiam agregar sugestões e impressões sobre a sua utilização, facilidade de uso e requerimentos específicos. Médicos radiologistas, por trabalharem na área e possuem conhecimento mais profundo em análise de imagens e também de diferentes softwares de visualização, poderiam contribuir com sugestões em um nível mais alto, de maneira a guiar funções futuras a serem desenvolvidas para o visualizador Medview, tais como novos algoritmos de realce e segmentação, suporte a novas modalidades de exames ou formas de interação.

4.1 Justificativa e método de avaliação

Como mostrado anteriormente, o fluxo de trabalho antes da cirurgia é bastante rápido e dinâmico e o método de avaliação deve estar de acordo com a cultura de trabalho de uma sala cirúrgica.

O estudo de Paré et al. (2005) avaliou através de questionários o sucesso na implantação de um PACS em um hospital de Montreal, no Canadá, e serviu como base para a formulação da metodologia que será usada. Apesar da proposta de metodologia deste trabalho ser mais específica, ou seja, tratar de um componente do PACS, ao invés do sistema todo como foi reportado no trabalho de Paré et al. (2005) a metodologia ainda é válida.

O método de avaliação escolhido foi aplicação de questionários. Questionários apresentam diversas vantagens sobre outros métodos mais complexos, e são a maneira mais simples e mais utilizada de colher dados sobre sistemas (LANDAUER; PRABHU, 1998). Segundo Root e Draper (1983), este método possui três vantagens principais: é um método barato, facilmente aplicável, e, é eficiente no que concerne a identificação de pontos fortes e fracos do sistema.

A verificação se dá com dois formulários de perguntas, aquele destinado aos médicos radiologistas tem um enfoque mais qualitativo, enquanto que os questionários destinados aos médicos cirurgiões abrange um enfoque mais quantitativo mas também com verificação da qualidade das funcionalidades disponíveis no programa.

As questões elaboradas para os questionários podem ser divididas em dois grupos: questões diretas e questões abertas. A avaliação das funcionalidades do programa é feita através de perguntas mais objetivas, entretanto sugestões de melhorias nas funções são levantadas com perguntas abertas destinadas aos médicos radiologistas. O estudo de Root e Draper (1983) evidenciou que perguntas abertas conseguem extrair mais informações que perguntas objetivas, mas nem sempre sua aplicação é possível como no caso da sala cirúrgica da Santa Casa, onde a celeridade do atendimento faz com que o médico foque seu atendimento apenas nas tarefas clínicas fundamentais. Assim sendo perguntas objetivas diretas foram a escolha para os cirurgiões.

4.2 Validação com médicos radiologistas

Médicos radiologistas avaliam o sistema segundo questões sobre a completude das funções disponibilizadas no programa (busca e transferência de exames de um servidor DICOM, ampliação, arrastar a imagem, marcação de distância, brilho e contraste, visualização multiplanar e 3D), qualidade da imagem apresentada comparada com outros sistema similares, facilidade de uso e sugestões de aprimoramentos futuros e melhora no processo de atendimento.

Este grupo de médicos trabalha diariamente com programas similares ao Medview em tarefas de diagnóstico patológico de pacientes, e por isso mesmo podem fazer uma análise mais profunda do sistema comparativamente com outros em uso no Centro de Imagem do hospital.

Em virtude disto o questionário de validação com esse grupo possui perguntas discursivas, diferentemente do questionário aplicado aos médicos cirurgiões que é mais objetivo, sendo portanto possível retirar mais informações desta forma aberta discursiva, principalmente sobre funcionalidades que devem ser adicionadas (ROOT, DRAPER, 1983).

4.2.1 Questionário para médicos radiologistas

O formulário de questões possui cinco questões:

1. Quanto as funções do programa (busca e transferência de exames, arrastar imagem, navegar entre imagens de uma série, zoom, marcar distância, ajuste de brilho e contraste, visualização em tela cheia, e multiplanar/3D), essas funções são suficientes para uso em uma Sala Cirúrgica? Há alguma outra função que poderia ser implementada para aprimorar seu uso?
2. Avalie a usabilidade do programa (mensagens informativas, ordem dos botões do mouse, facilidade de interação com as funções) comparando com outros sistemas similares. Quais os pontos positivos e os pontos que podem ser melhorados no programa Medview?
3. Avalie a qualidade da imagem e a informação apresentada na tela com relação:

- a. Ao método de visualização analógico com negatoscópio. A qualidade da imagem, e informações que podem ser extraídas pelo médico são melhores?
 - b. A outros programas visualizadores de imagens médicas. A qualidade da imagem, e informações que podem ser extraídas são compatíveis com outros sistemas similares?
4. No seu ponto de vista, o sistema possibilitaria melhora no entendimento pré-cirúrgico da patologia?
 5. Sugestões de melhoria

A primeira pergunta busca avaliar se as funções do programa são suficientes para suprir as necessidades de uso dentro de uma sala de cirurgia. Apesar do cuidadoso levantamento de requisitos e constante contato com médicos da Santa Casa há sempre a possibilidade de alguma funcionalidade importante ter sido preterida em favor de outra. Esta questão valida o que foi implementado e ainda busca informações sobre funcionalidades futuras que podem ser desenvolvidas em iterações ou mesmo projetos futuros de expansão do sistema Medview.

A segunda pergunta abrange o tema usabilidade. Com a experiência dos médicos radiologistas com outros sistemas a questão da usabilidade e de métodos de interação com o Medview é validada comparativamente com outros programas amplamente utilizados em diagnóstico médico, segundo a experiência do especialista.

A pergunta número três versa sobre a qualidade da imagem do exame apresentada. O objetivo desta questão é validar a exibição do exame em formato digital em um televisor de alta definição e de grande tamanho através do programa Medview contra o formato analógico de exibição em um negatoscópio com filmes impressos. A questão está subdividida em duas, sendo que a primeira verifica se há diferença e caso haja se esta é positiva em favor da visualização com o programa Medview, isto é, se favorece este como candidato a sistema substituto. A segunda parte da questão compara o sistema desenvolvido com outros similares.

A penúltima questão verifica se a implantação do sistema implicaria em uma melhora no sistema de atendimento médico, através de um aumento da compreensão do quadro clínico do paciente, estruturas anatômicas relacionadas a patologia entre outros.

A última questão é aberta a qualquer sugestão que não tenha sido abordada anteriormente.

4.3 Validação com médicos cirurgiões

A avaliação dos médicos cirurgiões é feita através de questionários com perguntas específicas diretas. Entre os pontos cobertos pela análise estão: qualidade da imagem médica apresentada, tempos de carga (tanto do sistema, quanto do exame médico), tempo de resposta da pesquisa de exames, e também funcionalidades utilizadas pelo usuário durante a sessão; também são investigados aspectos subjetivos do uso do sistema tais como: facilidade de uso, confiabilidade, e melhora no processo de atendimento na sala de cirurgia.

Como dito anteriormente, os questionários utilizados para este grupo de usuário são mais diretos e pontuais do que àqueles apresentados aos médicos radiologistas em

função da menor disponibilidade de tempo. Os formulários são preenchidos logo após a utilização do software imediatamente antes do procedimento cirúrgico.

Não obstante isso, a pesquisa de Root e Draper (1983), aponta a eficácia de formulários com questões diretas (*checklists*) para a validação de funções existentes no programa, sendo assim esse método mostra-se mais apropriado para esse grupo de usuários do que a implementação para o grupo anterior.

4.3.1 Questionário para médicos cirurgiões

Em função da avaliação ser mais objetiva e quantitativa, quatro das cinco questões presentes no questionário são questões objetivas para marcar, sendo que a última questão possibilita ao médico sugerir mudanças de forma específica. São avaliados entretanto também aspectos de qualidade das características do programa tais como funcionalidades e facilidade de uso.

A seguir são apresentadas as cinco questões:

1. Quanto as funcionalidades do programa, marque TODAS as que foram utilizadas (ver tabela 4.1):

Tabela 4.1: Questão 1 questionário de validação para médicos cirurgiões

<input type="checkbox"/> Arrastar imagem	<input type="checkbox"/> Navegar entre imagens de uma série
<input type="checkbox"/> Ampliar imagem (zoom)	<input type="checkbox"/> Marcar distância (linha)
<input type="checkbox"/> Ajustar brilho/contraste	<input type="checkbox"/> Marcar distância (elipse)
<input type="checkbox"/> Visualizar em tela cheia (fullscreen)	<input type="checkbox"/> Visualizar multiplanar (3D)

2. Avalie as seguintes características do programa (ver tabela 4.2):

Tabela 4.2: Questão 2 questionário de validação para médicos cirurgiões

1) Qualidade da imagem apresentada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Excelente	Bom	Regular	Ruim	Péssimo
2) Tempo de resposta do programa (carregamento do exame, operações de zoom, brilho e contraste, etc)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Excelente	Bom	Regular	Ruim	Péssimo
3) Facilidade de uso do programa (caso tenha sugestões use o item 5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Excelente	Bom	Regular	Ruim	Péssimo
4) Funções disponíveis no programa (caso tenha sugestões use o item 5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Excelente	Bom	Regular	Ruim	Péssimo
5) Método de interação com o programa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Excelente	Bom	Regular	Ruim	Péssimo

3. Dê uma nota de 1 a 5 para o nível de entendimento pré-cirúrgico da patologia (ver tabela 4.3):

Tabela 4.3: Questão 3 questionário de validação para médicos cirurgiões

□	□	□	□	□
Excelente	Bom	Regular	Ruim	Péssimo

4. Qual foi a duração da cirurgia?

5. Sugestões de melhoria

A primeira questão busca identificar quais das funções existentes no programa foram mais utilizadas, através da aplicação do questionário a diversos médicos, e, então a partir disso definir quais seriam as mais relevantes pelo critério de utilização.

Isto é importante para validar se a existência e o uso destas ferramentas mostram-se um diferencial com relação ao sistema analógico que não disponibiliza seu uso.

A segunda questão avalia qualitativamente cinco quesitos do programa segundo uma escala de cinco valores: excelente, bom, regular, ruim e péssimo, atribuindo uma nota de 1 a 5 respectiva ao valor.

O primeiro item desta segunda questão é sobre a qualidade da imagem apresentada, ou seja, se a qualidade do exame exibido é satisfatória para o estudo e compreensão, segundo impressão do médico cirurgião.

O item dois avalia a satisfação com os tempos de resposta do programa. Esse item é importante, pois os médicos tem o hábito de visualizar o exame radiológicos em um negatoscópio em um processo relativamente simples e rápido, e qualquer tempo extra no processo digital pode afetar adversamente a implantação do sistema. Este item visa dirimir qualquer dúvida com relação a isso.

O terceiro item verifica a usabilidade do programa Medview e qual nota os médicos atribuem a sua facilidade de uso. A usabilidade é uma questão particularmente importante e que pode prejudicar a adoção de um novo sistema, principalmente quando usuários já estão adaptados a certo padrão de fluxo de trabalho (STRICKLAND, 2000).

O penúltimo item versa sobre as funções disponíveis no programa, entre as características avaliadas nesta questão estão a abrangência, desempenho e eficácia das funções.

O último item complementa o terceiro item e avalia qualitativamente o método de interação do médico com o sistema.

A penúltima questão verifica se o entendimento pré-cirúrgico da condição clínica do paciente é satisfatória, ou seja, se o programa está de fato alcançando a sua meta de propiciar um entendimento médico eficaz através da apresentação de exames em formato digital.

A avaliação da média e da moda aritmética das notas atribuídas (segundo a soma dos valores numéricos de 1 a 5) destas questões, permite ter uma noção de como o sistema está sendo percebido pela maioria dos utilizadores, e também qual a média de avaliação. Ao mesmo tempo é possível verificar quais áreas pontuais necessitam atenção em ciclos futuros de desenvolvimento do programa.

A questão cinco possibilita ao médico cirurgião uma forma de comunicação menos objetiva como maneira de sugerir qualquer mudança.

A aplicação e consolidação dos resultados e notas dadas pelos médicos cirurgiões (utilizadores principais do sistema Medview), juntamente com os questionários e informações trazidas pelos médicos radiologistas, que por sua vez possuem conhecimento profundo em sistemas de visualização de imagens médicas, permite validar a implementação do programa e também a mudança no sistema de visualização de exames médicos em salas de cirurgia, do método analógico para o método digital.

5 CONCLUSÃO

Como visto no capítulo 2 deste trabalho, servidores PACS fornecem uma poderosa ferramenta de armazenamento de exames médicos e auxílio ao diagnóstico, sendo considerada "a principal ferramenta de imagem em um centro radiológico" (PIANYKH, 2008, p. 302). A padronização da comunicação através da norma DICOM, apresentada no mesmo capítulo, permitiu a interoperabilidade entre sistemas de imagens médicas. Entretanto existem hospitais que ainda não adotaram sistemas de visualização digital para Centros Cirúrgicos, apesar da disponibilidade de infra-estrutura, como o caso de estudo do hospital Santa Casa, tendo sido o foco deste trabalho.

Levando-se em conta os desenvolvimentos do padrão DICOM, e da existência de um PACS instalado, o capítulo três introduziu uma proposta de melhoria no sistema de atendimento médico através da substituição do sistema analógico existente por um sistema digital. Como foi apresentado naquele capítulo diversas foram as escolhas de bibliotecas para desenvolvimento DICOM, interação GUI, e visualização avançada de imagens.

O Medview foi implementado utilizando bibliotecas que agregaram vantagens significativas ao sistema: a interoperabilidade com outros sistemas DICOM conseguida através da biblioteca DCMKT, o que permite sua fácil implantação em outros ambientes que disponham de um PACS padronizado; a capacidade de executar em diversas plataformas, que se tornou possível através do uso do framework Qt, permitindo ao programa executar em múltiplos sistemas operacionais como Microsoft Windows e Linux; e confiabilidade, pois o uso de bibliotecas bem documentadas (como MITK, VTK, ITK e Qt), com código-fonte disponível, robustas e em constante teste e desenvolvimento, possibilita um sistema com menos erros.

O trabalho de especificação junto aos médicos garantiu que a solução final trouxesse funcionalidades importantes requeridas para uma melhor compreensão do paciente, como a visualização multiplanar e tridimensional que se mostraram não apenas úteis mas sim indispensáveis ao diagnóstico médico (GYLYS; WEDDING, 2009).

Verificou-se que substituição de um sistema de visualização analógico por outro digital, e integrado ao sistema PACS necessita ser analisado e planejado, e sobretudo uma metodologia de validação para esta mudança é necessária, muito embora já existam casos de sucesso que apontem que um visualizador digital de alta qualidade similar ao Medview traz de fato grandes melhorias ao processo de atendimento de saúde (LUNDBERG, 1999).

O capítulo quatro apresentou uma proposta de metodologia de validação do sistema Medview. A divisão dos usuários em dois grupos segundo sua área de atuação e familiaridade com sistemas similares permite extrair o máximo de informações de cada grupo de forma a possibilitar a validação (através das questões diretas sobre o impacto

do Medview no sistema de atendimento), a avaliação (através da atribuição de notas sobre as funcionalidades existentes no programa), e a proposição de melhorias (através das questões abertas e sugestões).

O processo de implantação do sistema já está em curso no Pavilhão Pereira Filho, mais especificamente no bloco cirúrgico do setor de pneumologia da Santa Casa. Os materiais necessários (televisor, suportes, computadores, cabos e periféricos) já foram adquiridos com recursos da FINEP (órgão financiador do projeto). O programa Medview já foi aprovado por processo de testes em sua última versão e preliminarmente pelo médico radiologista responsável. Infelizmente a instalação final do sistema depende de disponibilidade de tempo livre nas salas de cirurgia devendo, entretanto, ser instalado até o final do ano de 2010.

Diante dos potenciais de aplicação e inovação enunciados no capítulo três (integração de múltiplas modalidades de imagens, histórico de exames de um paciente, formas inovadoras de visualização destes, e algoritmos de realce e segmentação, entre outros), e tendo como base a metodologia de validação desenvolvida no presente trabalho, um desdobramento direto seria a implantação do sistema proposto e o levantamento de resultados como forma de verificação prática dos impactos da solução.

Levando em conta os avanços tecnológicos que estão acontecendo na área hospitalar com a integração de prontuários eletrônicos e informação clínica como mostrado no estudo de Jay e Anderson (1982), com o desenvolvimento de um padrão de intercâmbio de mensagens nessa área (HL7), esta também é uma linha que necessita atenção e possivelmente integração com o programa visualizador Medview.

Pesquisas futuras também poderiam se originar da expansão para outros tipos de meios de interação com o software, tal como sistema de comandos por voz, ou por gestos entre outros, que, dependendo de pesquisa, poderiam ser úteis ao meio médico ou cirúrgico. Para tanto é necessário verificar junto aos usuários o potencial destas tecnologias e avaliar os requisitos para uma nova iteração de projeto e programação

REFERÊNCIAS

- Antoine Rosset. **OsiriX**. Disponível em: <<http://www.osirix-viewer.com/>>. Acesso em dez. 2010.
- BASTOS, E. O. et al. Osirix: uma estação de trabalho radiológica portátil ao alcance do cirurgião. **Revista da Sociedade Brasileira de Cirurgia Craniomaxilofacial**, vol. 11, pg. 27-31, jan-mar 2008.
- BITTER, I. et al. Comparison of Four Freely Available Frameworks for Image Processing and Visualization That Use ITK. In: IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, vol. 13, 2007. **Journal...**New York: IEEE, 2007.
- BLANCHETTE, J.; SUMMERFIELD, M. **C++ GUI Programming with QT 4**. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2008.
- BROOKS, D. et al. **Power-Performance Modeling and Tradeoff Analysis for a High End Microprocessor**. Berlin: Springer. 2001.
- BUI, A. A. T.; TAIRA, R. K. **Medical Imaging Informatics**. 1st ed. New York: Springer, 2010.
- CLAURE, N.; OZDAMAR, O.; BANCALARI, E. A system for automatic adjustment of the inspired oxygen in mechanically ventilated premature infants. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE, EMBS, 25, pg. 454- 455, set. 2003. **Proceedings...** New York: IEEE. 2003.
- Da Vinci Surgery. **DA VINCI**. Disponível em: < <http://www.davincisurgery.com/>>. Acesso em nov. 2010.
- DCM4CHE**. Disponível em: <<http://www.dcm4che.org/>>. Acesso em nov. 2010.
- DCMTK–DICOM Toolkit. **DCMTK**. Disponível em: <<http://dicom.offis.de/dcm4che.org/>>. Acesso em nov. 2010.
- GOMATHI, M.; THANGARAJ, P. P. Automated CAD for Lung Nodule Detection using CT Scans. In: Data Storage and Data Engineering, DSDE, pg. 150-153, fev. 2010. [S.l.:s.n]: 2010.
- GRAY, H. **Anatomy of the Human Body**. 20th ed. Philadelphia: Lea & Febiger. 1918.
- GRAHAM, R. N. J.; PERISS, R. W.; SCARSBROOK, A. F. DICOM demystified: A review of digital file formats and their use in radiological practice. **Journal of Clinical Radiology**. New York, NY: Elsevier Science Inc, 2005.
- GYLYS, B. A.; WEDDING, M. E. **Medical Terminology Systems: A Body Systems Approach**. 6th ed. Philadelphia: F. A. Davis Company. 2009.

- HANSON, S. J.; ROSINSKI, R. Programmer Perceptions of Productivity and Programming Tools. In: COMMUNICATIONS ACM, vol. 28, 1985. **Journal...**New York: ACM, 1985.
- HLUDOV, S. et al. PACS for Teleradiology. In: SYMPOSIUM ON COMPUTER-BASED MEDICAL SYSTEMS. **Proceedings of the 12th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems**. Washington, DC: IEEE, 1999.
- HUANG, H. K. **PACS and Imaging Informatics: Basic Principles and Applications**. 2nd ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2010.
- IBÁÑEZ, L. et al. **The ITK Software Guide**. 2nd ed. [S.l.]: Kitware, Inc., 2005.
- JAY, S. J.; ANDERSON, G. J. Computerized hospital information systems: their future role in medicine. **Journal of the Royal Society of Medicine**. Bethesda, MD: PubMed, 1982.
- JURAK, P. et al. Noninvasive Detection of Vessel Stiffness from Continuous Blood Pressure Recordings in Hypertensive Subjects. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE, EMBS, 28, pg. 3222-3225, ago. 2006. **Proceedings...** New York: IEEE. 2006.
- KHURSHID, K.; BERGER, K. L.; MCGOUGH, R. J. Automated PET/CT Brain Registration for Accurate Attenuation Correction. In: ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, EMBC, 31, 2009. **Proceedings...** Minneapolis: IEEE, 2009.
- KRAUSE, A. **Foundations of GTK+ Development**. 1st ed. Berkely, CA: Apress, 2007.
- KURIHARA, Y. et al. Integration of Medical Images into the Total Hospital Information System - Experiences at Kochi Medical School. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES. **Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences**. Los Alamitos, CA: IEEE, 1999.
- LANDAUER, T. K.; PRABHU, P. V. **Handbook of Human-Computer Interaction**. 2nd ed. New York: Elsevier Science Inc. 1998.
- LAURENT, A. S. **Understanding Open Source and Free Software Licensing**. 1st ed. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc., 2004.
- LAWRENCE, G. R.; MARIN, G. A.; NARON, S. E. Simulation of a Hospital Picture Archiving and Control System. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 17., 1985. **Proceedings...** San Francisco, CA: ACM, 1985.
- LUNDBERG, N. Impacts of PACS on radiological work. In: SIGGROUP CONFERENCE ON SUPPORTING GROUP WORK. **Proceedings of the international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work**. New York, NY: ACM, 1999.
- MACDONALD, D.; NEVILLE, D. Evaluating the Implementation of Picture Archiving and Communication Systems in Newfoundland and Labrador—a Cost Benefit Analysis. **Journal of Digital Imaging**. New York, NY: Springer New York, 2010.
- MILDENBERGER, P.; EICHELBERG, M.; MARTIN, E. Introduction to the DICOM standard. In: EUROPEAN RADIOLOGY, vol. 12, 2001. **Journal...**Germany: [s.n], 2002.

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. **DIGITAL IMAGING AND COMMUNICATIONS IN MEDICINE (DICOM)**. Washington: NEMA. 1993.

NITROSI, A. et al. A Filmless Radiology Department in a Full Digital Regional Hospital: Quantitative Evaluation of the Increased Quality and Efficiency. **Journal of Digital Imaging**. New York, NY: Springer New York, 2007.

ONDO, K. PACS Direct Experiences: Implementation, Selection, Benefits Realized. **Journal of Digital Imaging**. New York, NY: Springer New York, 2004.

OsiriX Imaging Software. **OSIRIX**. Disponível em: <<http://www.osirix-viewer.com/>>. Acesso em nov. 2010.

PARÉ, G. et al. Evaluating PACS Success: A Multidimensional Model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 38, 2005. **Proceeding...**New York: IEEE, 2005.

PIANYKH, O. S. **Digital Imaging and Communications in Medicine: A Practical Introduction and Survival Guide**. 1st ed. New York: Springer, 2008.

PROTOPAPAS, Z. et al. Picture archiving and communication system training for physicians: Lessons learned at the Baltimore VA Medical Center. **Journal of Digital Imaging**. New York, NY: Springer New York, 1996.

PUECH, P. et al. Prostate cancer computer-assisted diagnosis software using dynamic contrast-enhanced MRI. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE, EMBS, 29, pg. 5567-5570, ago. 2007. **Proceedings...** New York: IEEE. 2007.

RELATÓRIO ANUAL 2007 IRMANDADE DA SANTA CASA DE PORTO ALEGRE. Disponível em <http://www.santacasa.org.br/relatorio_sc2007.pdf>. Acesso em nov. 2010.

ROFF, T. J. **UML: A Beginner's Guide**. 1st ed. New York: McGraw-Hill, Inc. 2003.

ROOT, R. W.; DRAPER, S. Questionnaires as a software evaluation tool. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, Boston, 1983. **Proceedings...** New York: ACM. 1983.

ROSSET, A.; SPADOLA, L.; RATIB, O. OsiriX: An Open-Source Software for Navigating in Multidimensional DICOM Images. **Journal of Digital Imaging**. New York, NY: Springer New York, 2004.

SALMERI, M. et al. **Assisted Breast Cancer Diagnosis Environment: A Tool for DICOM mammographic images analysis**. In: IEEE International Workshop on Medical Measurements and Applications, Italia, 2009. New York: IEEE. 2009.

SCHREIER, G; KASTNER, P.; MARKO, W. An automatic ECG processing algorithm to identify patients prone to paroxysmal atrial fibrillation. In: COMPUTERS IN CARDIOLOGY, pg.133-135, 2001. **Journal...**New York: IEEE. 2001.

SERTEL, D.; BOZDEMIR, Y. S.; ÖZKURT, N. Segmentation of Brain Magnetic Resonance images using ITK, VTK and MeVisLab. In: NATIONAL BIOMEDICAL ENGINEERING MEETING, BIYOMUT, 14., 2009. **Proceedings...** Izmir: [s.n], 2010.

STRICKLAND, H. N. **PACS (picture archiving and communication systems): filmless radiology**. London, UK: BMJ Group, 2000.

STROUSTRUP, B. **The C++ Programming Language**. 3rd ed. Boston, MA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2000.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. Tradução da 4^a ed. Rio de Janeiro: Campus. 2003.

The Medical Imaging Interaction Toolkit. **MITK**. Disponível em: <<http://www.mitk.org/wiki/MITK>>. Acesso em nov. 2010.

TÜRKMEN, S. et al. Cerebellar hypoplasia and quadrupedal locomotion in humans as a recessive trait mapping to chromosome 17p. In: **MEDICAL GENETICS**, vol. 43, pg. 461-464, 2005. **Journal...** [S.l.]: JMG. 2006.

VAQUERO, J. J. et al. PET, CT, and MR Image Registration of the Rat Brain and Skull. In: **IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE**, vol. 48, 2001. **Journal...**New York: IEEE, 2001.

VÁZQUEZ, A. et al. Evaluation of Open Source DICOM Frameworks. In: **MULTI-CENTER INFORMATION MANAGEMENT WORKSHOP, MCIM**, 2007. **Proceedings...** St. Louis: [s.n], 2007.

XIA, Y. et al. Segmentation of Brain Structures Using PET-CT Images. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY AND APPLICATION IN BIOMEDICINE**, 5, 2008. **Proceedings...** Shenzhen: [s.n], 2008.

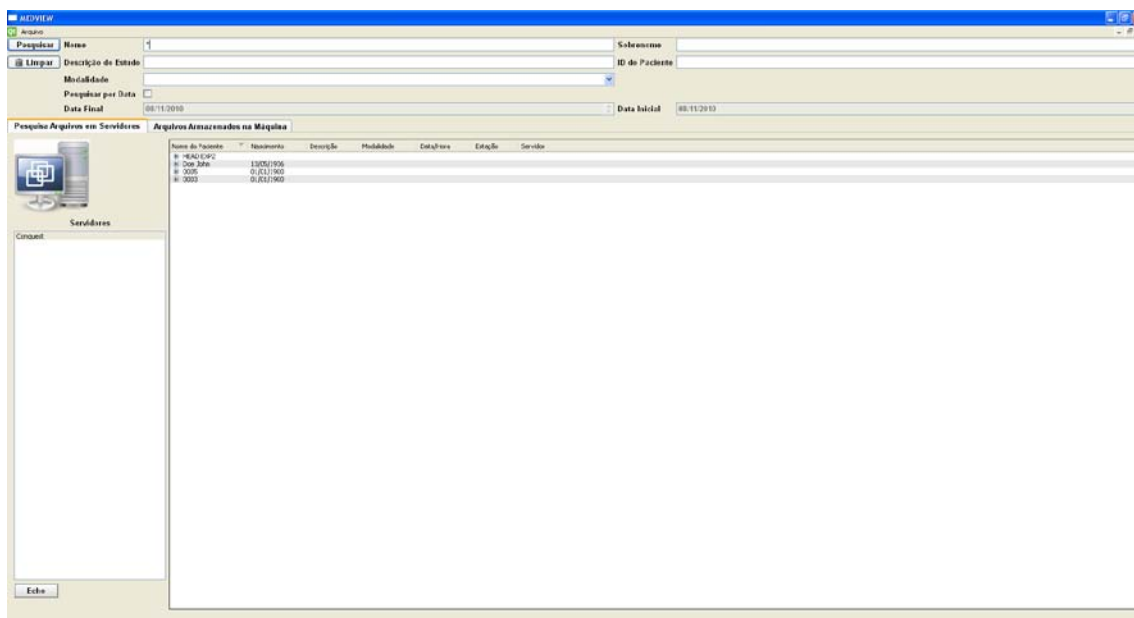
APÊNDICE <MANUAL DE USO DO MEDVIEW>

O programa Medview consiste de três partes principais. A pesquisa e transferência de exames de um Servidor PACS configurado, a consulta e visualização a exames armazenados localmente, e operações sobre os exames visualizados.

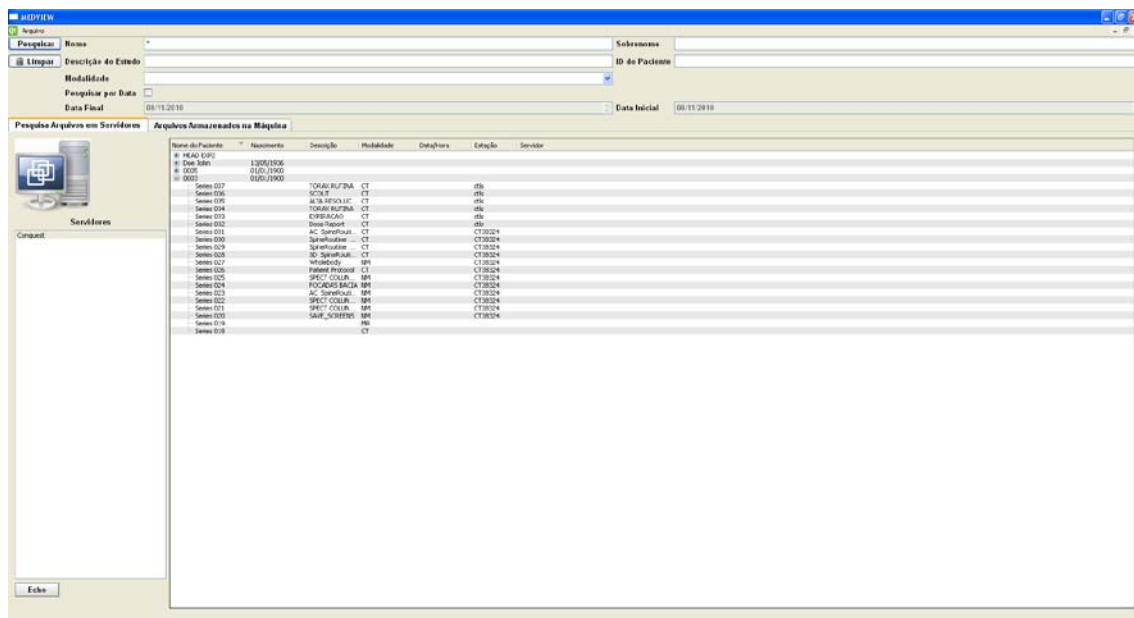
A seguir veremos as funções disponíveis em cada uma as partes do programa.

1. Pesquisa de exames e transferência de exames:

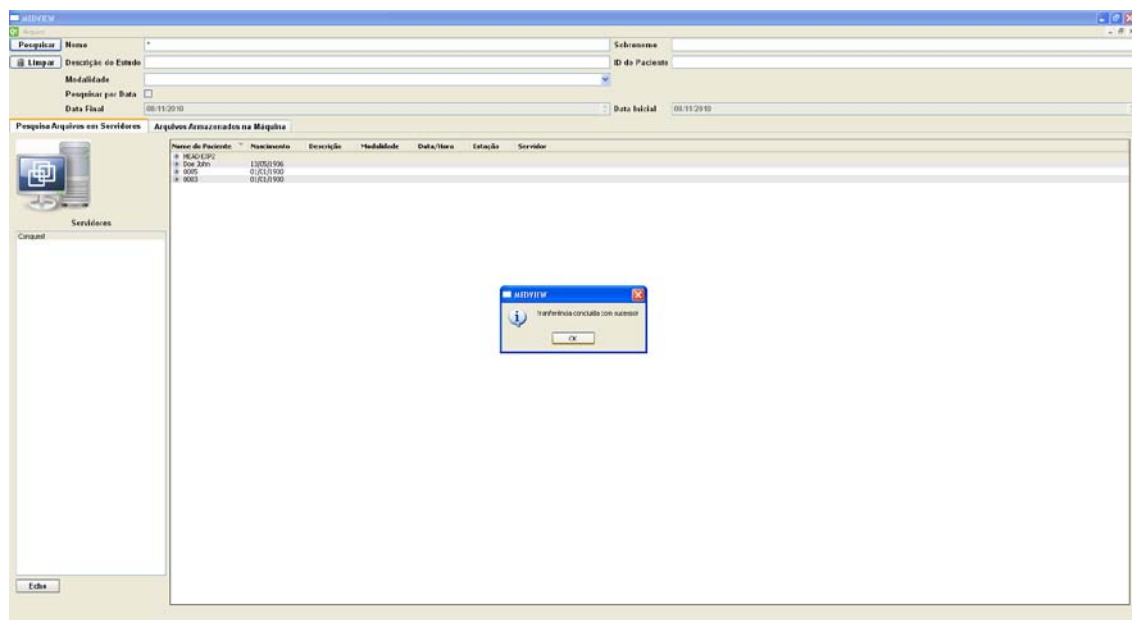
Para fazer uma pesquisa digite nas caixas de texto os dados do paciente. É possível fazer busca pelo nome do paciente, sobrenome, identificador, pela descrição do estudo, modalidade, ou por um intervalo de datas.



Para expandir um estudo e mostrar informações das séries nele contido, clique no botão "+".



Dê um duplo clique com o Botão esquerdo do mouse sobre o estudo que deseja transferir.



2. Consulta e visualização a exames locais:

Clique sobre a aba "Arquivos Armazenados na Máquina" para exibir os arquivos que você já transferiu ou copiou de alguma mídia como CD. Os seus arquivos estarão por padrão armazenados em "C:\Arquivos de Programas\medview\bin\dicom". Todos os estudos válidos armazenados nesta pasta serão mostrados nessa tela.



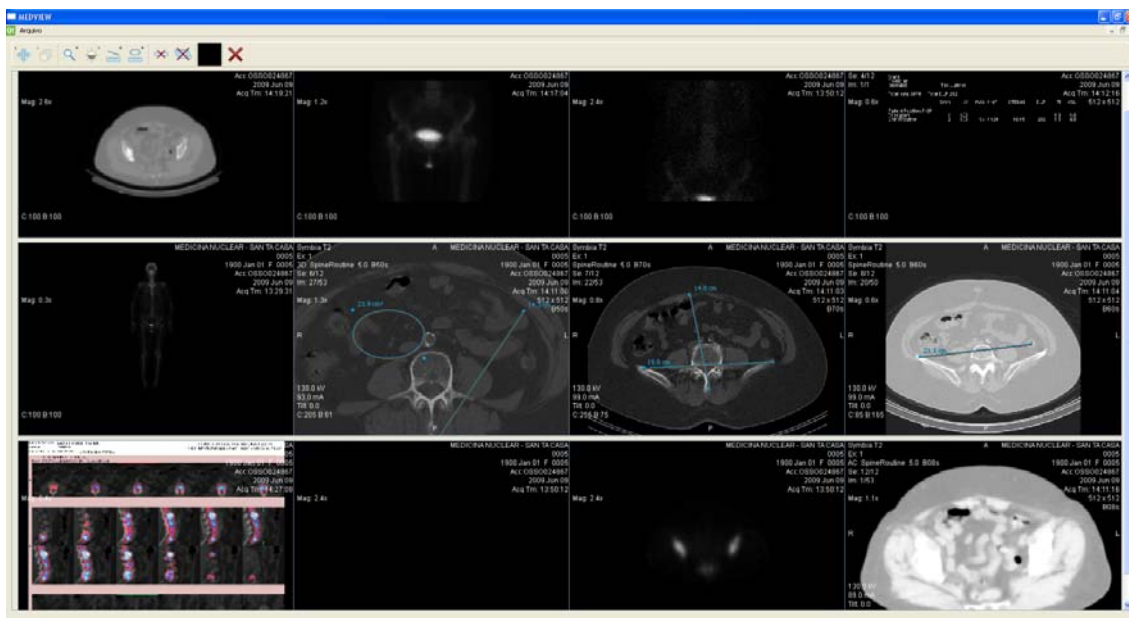
As seguintes operações podem ser realizadas sobre as imagens: ampliação (zoom), ajuste de brilho e contraste, medição linear (reta), medição de área (elipse), navegar entre imagens de uma série e arrastar a imagem.

As funções encontram-se agrupadas por botões sendo que estão selecionadas sempre duas funções, uma para o botão esquerdo e outra para o botão direito. As funções se dividem desta maneira:

<i>Botão ESQUERDO</i>	<i>Botão DIREITO</i>
Arrastar	Ampliar
Navegar	Brilho/Contraste
	Reta
	Elipse

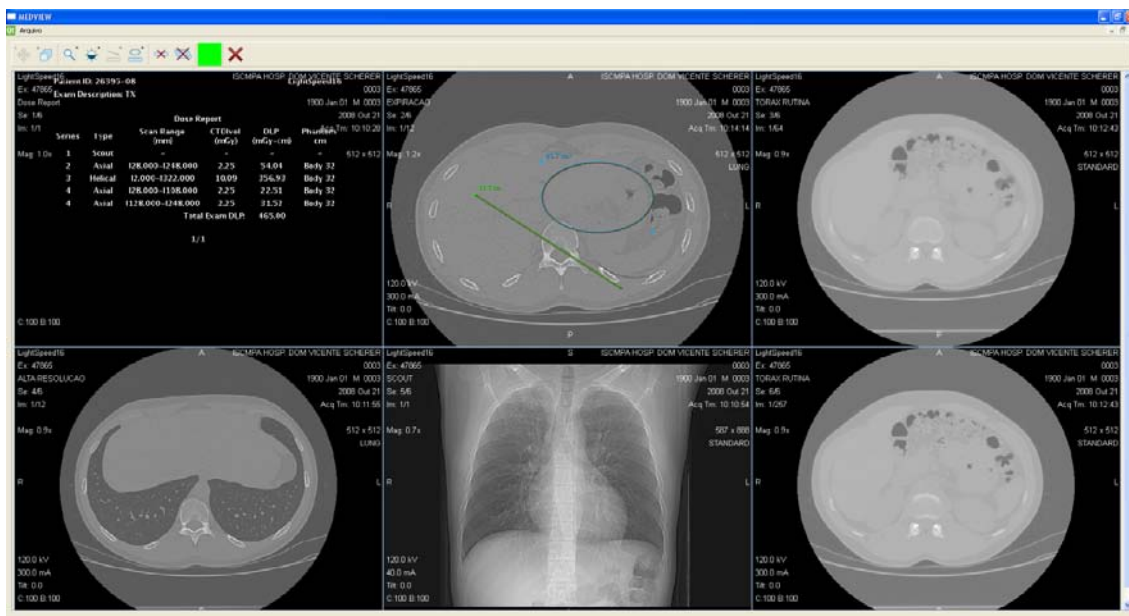
Todas as funções são ativadas ao arrastar o mouse sob a série desejada.

Abaixo vemos a visualização em mosaico com a aplicação de algumas destas funções.



É possível escolher outra cor para as linhas bem como excluir linhas desenhadas. Para selecionar a cor clique sobre o ícone com o retângulo preto próximo ao botão para sair. A mudança de cor afeta apenas as próximas linhas que você desenharmos.

Para excluir uma linha, clique sobre um dos quadrados nas pontas da linha para selecioná-la e após clique no ícone para excluir apenas a linha selecionada. É possível também excluir todas as linhas para isso basta clicar sobre o ícone para excluir todas as linhas e confirmar a mensagem que aparecerá.



Existem ainda duas funções que são ativadas com o duplo clique do mouse sobre uma série selecionada: função tela-cheia e função reconstrução MPR e 3D. As funções são distribuídas desta forma:

Botão ESQUERDO	Botão DIREITO
Tela-cheia	MPR/3D

As mesmas ferramentas que estavam disponíveis na visualização de mosaico podem também ser usadas na visualização de tela-cheia, bastando selecionar a operação desejada na barra de ferramentas. Para fechar a visualização tela-cheia clique no ícone para sair situado na barra de ferramentas.



A visualização MPR e tridimensional permite ter três vistas de uma série além de uma visualização 3D.

Para fechar a janela e voltar a visualização de mosaico ou tela-cheia clique no "X" no canto superior direito para fechar.

