

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA**

**ARQUITETURA PARA RECUPERAÇÃO DE
IMAGENS DIAGNÓSTICAS BASEADA EM
CONTEÚDO: UMA FERRAMENTA PARA
AUXÍLIO À RADIOLOGIA EM AMBIENTE
PACS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Cristiano Albiero Berni

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**ARQUITETURA PARA RECUPERAÇÃO DE IMAGENS
DIAGNÓSTICAS BASEADA EM CONTEÚDO: UMA
FERRAMENTA PARA AUXÍLIO À RADIOLOGIA EM
AMBIENTE PACS**

Cristiano Albiero Berni

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Programa de
Pós-Graduação em Informática (PPGI), Área de Concentração em
Computação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Computação

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Trindade Borges da Costa

Santa Maria, RS, Brasil

2012

Berni, Cristiano Albiero

Arquitetura para recuperação de imagens diagnósticas baseada em conteúdo: Uma ferramenta para auxílio à radiologia em ambiente PACS / por Cristiano Albiero Berni. – 2012.

58 f.: il.; 30 cm.

Orientador: José Antônio Trindade Borges da Costa

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Informática, RS, 2012.

1. CBIR. 2. PACS. 3. DICOM SR. 4. Radiologia. 5. Recuperação de imagens diagnósticas. 6. Busca baseada em conteúdo. I. Borges da Costa, José Antônio Trindade. II. Título.

© 2012

Todos os direitos autorais reservados a Cristiano Albiero Berni. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: cberni@inf.ufsm.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Informática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ARQUITETURA PARA RECUPERAÇÃO DE IMAGENS
DIAGNÓSTICAS BASEADA EM CONTEÚDO: UMA FERRAMENTA
PARA AUXÍLIO À RADIOLOGIA EM AMBIENTE PACS**

elaborada por
Cristiano Albiero Berni

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Computação

COMISSÃO EXAMINADORA:

José Antônio Trindade Borges da Costa, Dr.
(Presidente/Orientador)

Ana Maria Marques da Silva, Dr^a. (PUCRS)

Marcos Cordeiro d'Ornellas, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 08 de Novembro de 2012.

A todas as pessoas que, diretamente ou indiretamente se envolveram neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

- Universidade Federal de Santa Maria, professores e funcionários;
- Prof. Dr. José Antônio Trindade Borges da Costa, pela orientação e acreditar até o fim;
- Irmão Mestre Jean Carlo Albiero Berni, pela ajuda incondicional e coorientação;
- Empresa Animati Computação Aplicada, por fazer parte deste trabalho;
- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro;
- Professores doutores membros da banca examinadora, por emprestarem sua sabedoria;
- Pai Selito Pedro Cassanta Berni e mãe Luci de Lourdes Albiero Berni, por tudo;
- Namorada Caroline Pinheiro de Vargas, pelo apoio e compreensão.

Aos acima citados, MUITO OBRIGADO.

“Todos podem ver as táticas de minhas conquistas, mas ninguém consegue discernir a estratégia que gerou as vitórias.”

— SUN TZU

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Informática
Universidade Federal de Santa Maria

ARQUITETURA PARA RECUPERAÇÃO DE IMAGENS DIAGNÓSTICAS BASEADA EM CONTEÚDO: UMA FERRAMENTA PARA AUXÍLIO À RADIOLOGIA EM AMBIENTE PACS

AUTOR: CRISTIANO ALBIERO BERNI

ORIENTADOR: JOSÉ ANTÔNIO TRINDADE BORGES DA COSTA

Local da Defesa e Data: Santa Maria, 08 de Novembro de 2012.

Uma das principais formas de diagnóstico utilizadas atualmente corresponde aos exames realizados por meio da análise de imagens diagnósticas. Devido à demanda crescente por esse tipo de exame e ao processo manual e repetitivo dos métodos utilizados pelos médicos radiologistas, começam a surgir novos meios para auxiliar os procedimentos. Uma ferramenta que pode ajudar o médico na formulação de diagnósticos é a busca de casos semelhantes àquele que está sendo realizado, tendo como função principal conferir maior segurança ao radiologista em seus apontamentos. Para tanto, foi desenvolvida uma arquitetura modular para recuperação de imagens diagnósticas baseada em conteúdo como uma ferramenta de auxílio a diagnósticos. Através do padrão DICOM SR, utilizado para armazenar achados radiológicos e mensurações - comumente provenientes de CAD - implementou-se, em um ambiente PACS, uma estrutura capaz de permitir o armazenamento e consulta de características extraídas das imagens diagnósticas. A extração de características das imagens pode ocorrer através de diferentes métodos de processamento que, por sua vez, geram diferentes parâmetros para armazenamento e consulta. O projeto foi desenvolvido em conjunto com uma empresa fornecedora de soluções de PACS e com o Laboratório de Computação Aplicada da Universidade Federal de Santa Maria.

Palavras-chave: CBIR. PACS. DICOM SR. Radiologia. Recuperação de imagens diagnósticas. Busca baseada em conteúdo.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post-Graduate Program in Informatics
Federal University of Santa Maria

ARCHITECTURE FOR CONTENT-BASED DIAGNOSTIC IMAGE RETRIEVAL: A TOOL TO AID IN RADIOLOGY PACS ENVIRONMENT

AUTHOR: CRISTIANO ALBIERO BERNI

ADVISOR: JOSÉ ANTÔNIO TRINDADE BORGES DA COSTA

Defense Place and Date: Santa Maria, November 08st, 2012.

One of the main forms of diagnosis used nowadays matches the exams performed by analysis of diagnostic images. Due to a growing request for this kind of diagnostic and the repetitive manual procedure of the used methods by radiologists new ways are emerging to aid procedures. A tool that can help the physician to report a diagnosis is searching similar cases for that which is being held with the main function of increased safety to the radiologist in his notes. For this, a modular architecture for content-based diagnostic image retrieval was developed as a tool to aid diagnosis. Through the DICOM SR standard used to store radiological findings and measurements - commonly from CAD - was implemented in a PACS environment a structure that will provide storage and query contents extracted from diagnostic images. The contents extraction from images can be done by different processing methods that generate different parameters for storage and retrieval. The project was developed in partnership with a provider of solutions for PACS and the Applied Computing Laboratory of the Federal University of Santa Maria.

Keywords: CBIR. PACS. DICOM SR. Radiology. Diagnostic image retrieval. Content-based search.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Troca de mensagens entre modalidade diagnóstica e servidor PACS.	22
Figura 2.2 – CR - equipamento para digitalização de raios X. Fonte: Carestream Health (2012).	25
Figura 2.3 – Componentes de uma rede DICOM. Aquisição - modalidades diagnósticas; Armazenamento - sistema de PACS; Visualização e interpretação - <i>Workstations</i> para diagnóstico.	26
Figura 2.4 – Fluxo de trabalho de um sistema PACS.	30
Figura 2.5 – Interface web do Animati PACS exibindo resultados em forma de miniaturas (<i>thumbnails</i>).	31
Figura 2.6 – Interface web do Animati PACS exibindo resultados em forma de lista.	32
Figura 2.7 – Animati Workstation.	34
Figura 3.1 – Visão geral da arquitetura do CBIR de imagens diagnósticas implementado em um ambiente de PACS.	38
Figura 3.2 – Organização de um servidor que hospeda o Animati PACS.	39
Figura 3.3 – Diagrama de relacionamento das tabelas do CBIR no banco de dados.	41
Figura 3.4 – Classes e métodos para extração das características visuais das imagens.	42
Figura 3.5 – Classes e métodos do <i>plug-in</i> de CBIR no Animati Workstation.	44
Figura 3.6 – Exemplos típicos de <i>slices</i> de tomografia de pulmão nas alturas do ombro, tórax e abdômen.	46
Figura 3.7 – Exemplo da aplicação de uma transformada de Fourier e de reconstrução da imagem por transformada inversa utilizando os componentes de frequência mais baixa.	47
Figura 3.8 – Como estender a arquitetura para adição de novos métodos. Partes marcadas em vermelho referenciam classes, funções e variáveis a serem utilizadas.	49
Figura 4.1 – Imagem problema (<i>query</i>) de tomografia de pulmão na altura do ombro e o conjunto de <i>thumbnails</i> que representam as imagens recuperadas mostradas na interface CBIR do PACS da Animati.	51
Figura 4.2 – Imagem problema (<i>query</i>) de tomografia de pulmão na altura do tórax e o conjunto de <i>thumbnails</i> que representam as imagens recuperadas mostradas na interface CBIR do PACS da Animati.	52
Figura 4.3 – Imagem problema (<i>query</i>) de tomografia de pulmão na altura do abdômen e o conjunto de <i>thumbnails</i> que representam as imagens recuperadas mostradas na interface CBIR do PACS da Animati.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR	<i>American College of Radiology</i>
AE	<i>Application Entities</i>
ANVISA	<i>Agência Nacional de Vigilância Sanitária</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
CAD	<i>Computer-Aided Diagnosis</i>
CBIR	<i>Content-Based Image Retrieval</i>
CIS	<i>Clinical Information System</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
CR	<i>Computed Radiography</i>
CT	<i>Computed Tomography</i>
DCMR	<i>DICOM Content Mapping Resource</i>
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
DICOM SR	<i>DICOM Structured Reporting</i>
EPL	<i>Eclipse Public License</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
GPL	<i>General Public License</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HIS	<i>Hospital Information System</i>
ID	<i>Identificador</i>
IOD	<i>Information Object Definitions</i>
ITSM	<i>Incubadora Tecnológica de Santa Maria</i>
LaCA	<i>Laboratório de Computação Aplicada</i>
LGPL	<i>Lesser General Public License</i>
LUT	<i>Lookup table</i>
MPL	<i>Multi-planar reformatting</i>
MPR	<i>Mozilla Public License</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
PACS	<i>Picture Archiving and Communication System</i>
RAID	<i>Redundant Array Of Independent Disks</i>
RIS	<i>Radiological Information System</i>
ROI	<i>Regions of Interest</i>
SCP	<i>Service Class Provider</i>

SCU	<i>Service Class User</i>
SOP	<i>Service-Object Pair</i>
TID	<i>Template Identifier</i>
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
VR	<i>Value Representation</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
XSL	<i>eXtensible Stylesheet Language</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 IMAGENS DIAGNÓSTICAS	18
2.1 Recuperação de Imagens Baseada em Conteúdo	19
2.2 DICOM	20
2.2.1 DICOM SR	23
2.3 PACS	25
2.3.1 PACS <i>Workflow</i>	29
2.3.2 Animati PACS.....	30
3 ARQUITETURA MODULAR PARA SUPORTE A CBIR	36
3.1 Banco de Dados de Imagens	39
3.2 Estrutura de Armazenamento CBIR	40
3.3 Métodos de Extração de Características	41
3.4 Integração ao Ambiente Animati PACS	43
3.5 Caso de Uso	44
3.6 Estendendo a Arquitetura	48
4 RESULTADOS	50
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A radiologia ou diagnóstico por imagem é a especialidade da medicina que estuda órgãos ou estruturas do corpo humano através da utilização de diversos sinais que geram imagens. As primeiras imagens médicas foram produzidas por transmissão de raios X através do corpo do paciente e registradas em filmes radiográficos, os quais eram revelados por processos químicos. Embora os raios X tenham sido descobertos no final do século XIX e sejam utilizados desde o início do século XX, a radiologia digital surgiu em meados da década de 50. Dentre as primeiras aplicações destaca-se a geração de imagens digitais por um equipamento de tomografia computadorizada em 1967, que, em 1971, se tornaria um protótipo (BLOCKER, 2010). Seus inventores, Godfrey Hounsfield e Allan McLeod Cormack, receberam o prêmio Nobel de medicina em 1979 (NOBEL, 1979).

Nas últimas décadas, a utilização de filmes radiográficos vem sendo substituída gradativamente por tecnologias digitais. Hoje, a capacidade dos sistemas de radiologia digital, onde detectores que convertem raios X em sinais digitais substituem os filmes tradicionais, permitem obtenção, armazenamento, comunicação, visualização e análise de imagens de forma integrada e eficiente (CHIMIÁK, 1992). Muitos hospitais e clínicas estão aderindo às tecnologias digitais principalmente pela introdução de aplicações web, que aumentam a capacidade de comunicação e compartilhamento de informação (PALMA et al., 2010). Para Cao (2000), soluções web oferecem uma tecnologia multi-plataforma que permite acesso simultâneo de diferentes lugares de forma instantânea e segura. Essas aplicações são denominadas *Picture Archiving and Communication System* (PACS).

O conceito de PACS foi introduzido no início dos anos 80, tornando-se popular somente nos anos 90. Esses sistemas são responsáveis pelo gerenciamento, arquivamento, busca e recuperação das imagens digitais obtidas de equipamentos de tomografia computadorizada, ressonância magnética, ultrassonografia, medicina nuclear, endoscopia, mamografia e radiografia (CAO; HUANG, 2000). Imagens e relatórios são transmitidos digitalmente através do PACS. O formato universal para armazenamento e transferência de imagens médicas é o DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine* ou Comunicação de Imagens Digitais em Medicina). DICOM é um padrão desenvolvido por ACR (*American College of Radiology*) e NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) que permite a comunicação entre sistemas e equipamentos de diferentes fabricantes (SUAPANG; DEJHAN; YIMMUN, 2010). Em outras

palavras, é um conjunto de normas com a finalidade de padronizar a formatação e comunicação das imagens médicas.

Com a introdução dessas tecnologias, os médicos radiologistas estão aumentando a produtividade na emissão e comunicação de laudos de acordo com o crescente volume de imagens para cada tipo de estudo. Uma abordagem promissora para melhorar a exatidão e precisão ao realizar a interpretação dos exames é a integração da assistência realizada por computadores. Assim, surgem técnicas para agilizar a realização de laudos radiológicos como a recuperação de imagens baseada em conteúdo, ou CBIR (do inglês *Content-Based Image Retrieval*). A recuperação de imagens baseada em conteúdo tem, como um dos principais objetivos, a busca de imagens semelhantes àquelas que estão sendo avaliadas. No contexto da radiologia, a recuperação de outros estudos ou exames é importante, pois estes podem servir de comparação para o caso que está sendo analisado, conferindo maior segurança na sugestão de diagnóstico por parte do médico radiologista.

A importância dos sistemas de recuperação de imagens médicas como auxílio à tomada de decisão já foi discutida por diversos autores (AKGÜL et al., 2010; BUENO et al., 2002; MÜLLER et al., 2004; OLIVEIRA; AZEVEDO-MARQUES; CIRNE FILHO, 2007; RIBEIRO et al., 2006; SILVA; TRAINA, 2006) e conta com propostas de implementação em software nas mais variadas arquiteturas e estruturas de banco de dados. Porém, encontraram-se poucas tentativas de promover a implementação de técnicas de CBIR através de uma abordagem baseada no próprio padrão DICOM (WELTER et al., 2010), ou seja, utilizando o padrão definido pela indústria para o armazenamento estruturado de resultados associados aos exames.

Dentre as definições desse padrão, destaca-se o DICOM SR (*Structured Reporting*). O DICOM SR é uma extensão oficial do DICOM que permite, de uma forma padronizada, a troca de dados estruturados e informações codificadas tais como, relatórios médicos, medições, registro de procedimentos e resultados de CAD (*Computer-Aided Diagnosis* ou Diagnósticos Auxiliados por Computador) (RIESMEIER et al., 2006). Assim, pode-se considerar a possibilidade de utilizar o DICOM SR como padrão de armazenamento de meta-informações associadas ao conteúdo das imagens, as quais seriam utilizadas para definir a semelhança entre imagens.

Ao utilizar-se o padrão DICOM e suas extensões para o desenvolvimento de aplicações de armazenamento e comunicação de imagens diagnósticas, somam-se esforços na busca pela interoperabilidade e reuso de métodos e técnicas. A questão que se coloca então, é sobre a possibilidade de implementar uma arquitetura para recuperação de imagens diagnósticas baseada

em conteúdo, utilizando o padrão DICOM SR, que apresente características de extensibilidade e interoperabilidade.

Por extensibilidade entende-se a possibilidade de implementação de novas técnicas de extração e comparação de características para um mesmo conjunto de imagens armazenadas em sistema PACS. Para tornar o sistema extensível, a melhor alternativa é a adoção de uma arquitetura modular, de modo a garantir que novos métodos possam ser agregados ao sistema sem a necessidade de alteração de toda a sua estrutura. Por interoperabilidade entende-se a possibilidade de diversos atores de uma rede DICOM interpretarem o documento SR.

O objetivo geral deste trabalho é, portanto, o desenvolvimento de uma arquitetura para recuperação de imagens diagnósticas através da busca por similaridade de imagens, utilizando as definições do padrão DICOM.

Os objetivos específicos deste trabalho, cujos fundamentos, metodologias e resultados estão descritos nos próximos capítulos foram:

- A. Implementar uma arquitetura para armazenar e consultar meta-informações de imagens diagnósticas em um PACS baseada na extensão DICOM SR;
- B. Utilizar um método de processamento de imagens para extrair e armazenar características /meta-informações de um conjunto de imagens diagnósticas, permitindo a validação da arquitetura;
- C. Desenvolver uma estrutura que permita a implementação e inserção de novos métodos de extração de meta-informações na arquitetura;
- D. Desenvolver uma interface para demonstração e aplicabilidade da arquitetura.

No desenvolvimento do presente trabalho foi realizada uma pesquisa de natureza exploratória. A pesquisa exploratória tem como objetivo o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições (SELLTIZ et al., 1975 apud GIL, 2002). Para Wazlawick (2009) as pesquisas exploratórias são utilizadas em áreas emergentes para estudos nos quais não se consegue apresentar dados estaticamente aceitos.

Este trabalho justifica-se pelo crescente uso novas tecnologias de diagnóstico por imagem no mercado, as quais têm sido usadas para dar suporte ao diagnóstico, tornando mais rápido, reprodutível e confiável. Empresas líderes de mercado no segmento como Philips, GE,

Agfa, Kodak, têm lançado diversos produtos para o setor nos últimos anos e buscam a inovação de forma constante. O desenvolvimento de novas ferramentas médicas vai ao encontro das linhas de pesquisa propostas pela empresa Animati Computação Aplicada (2012) que trabalha em parceria com o Laboratório de Computação Aplicada - LaCA (2012) da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM.

A arquitetura foi implementada sobre o sistema de Animati PACS, desenvolvida pela empresa Animati, que possui experiência em desenvolvimento de softwares para o setor da saúde. A validação das suas funcionalidades da ferramenta ocorreu a partir de um caso de uso definido em conjunto com os colaboradores do projeto. A implementação foi realizada na sede da Animati, localizada na Incubadora Tecnológica de Santa Maria (ITSM) - Campus da UFSM, com o apoio do LaCA.

O trabalho está organizado conforme descrito a seguir. No capítulo 2 é feita uma revisão de literatura onde são levantados os conceitos relevantes para o desenvolvimento do trabalho, também foram apresentadas justificativas para a relevância da pesquisa. Foram levantadas informações de publicações anteriores sobre assuntos semelhantes que colaboraram para o desenvolvimento da proposta do presente projeto, assim como informações sobre CBIR, DICOM, PACS e análise de imagens. No capítulo 3, a arquitetura para busca de imagens diagnósticas por similaridade é descrita e a codificação do sistema é detalhada. A implementação levou em consideração as características do ambiente de desenvolvimento, testes e validação proporcionados pela empresa Animati Computação Aplicada e seu sistema de PACS, o Animati PACS. Ainda, no capítulo 3, descreve-se o caso de uso desenvolvido para validar a arquitetura. Foi desenvolvido um módulo de processamento de imagens para extrair características visuais de um conjunto de exames. Nessa etapa a ferramenta foi testada simulando um ambiente real de utilização. Pode-se verificar sua eficácia e avaliar necessidades de melhorias bem como ajustar detalhes para o recebimento de contribuições de trabalhos futuros. No capítulo 4 são discutidos os resultados obtidos e o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho.

2 IMAGENS DIAGNÓSTICAS

Em qualquer indicador de saúde percebe-se que os procedimentos médicos entre os indivíduos de mais de 60 anos são mais frequentes do que nas populações de outras faixas etárias (VERAS, 2003). Este fato, combinado com o crescimento da população e a elevação da expectativa de vida, tem resultado em um aumento significativo na utilização dos serviços de saúde, em suas diversas especialidades. Neste cenário, uma das principais formas de diagnóstico utilizadas atualmente corresponde aos exames realizados por meio da análise de imagens médicas.

Para Veras (2003), ao mesmo tempo em que a maioria dos ramos da economia aderem a novas tecnologias em vista da redução de custos e melhoria de seus produtos e serviços, na saúde, estes estão cada vez mais caros, sem que necessariamente melhore a qualidade do processo. Uma explicação para esse aumento de valores pode ser imputada à crescente utilização dos espaços hospitalares para a instalação dos modernos e sofisticados equipamentos de exames diagnósticos. Essa pressão sobre o sistema hospitalar é aliviada por uma transferência progressiva de procedimentos diagnósticos para locais fora das unidades hospitalares, resultando na criação de diversas redes de clínicas com objetivos mais específicos, que atendem melhor os pacientes.

Também, devido ao aumento do poder aquisitivo das populações de classes econômicas mais baixas, maior número de pessoas passou a ter acesso aos novos meios de diagnósticos de doenças e exames preventivos. O maior acesso da população a instrumentos de diagnóstico e prevenção tem pressionado os médicos radiologistas a realizarem mais laudos em um espaço menor de tempo. Esse aumento de volume de trabalho tende a reduzir a qualidade do diagnóstico.

Para auxiliar e agilizar o trabalho do profissional de saúde surgem ferramentas de diagnóstico, como por exemplo, técnicas de CAD. A introdução de novas tecnologias é de grande importância para viabilizar o processo de diagnóstico em larga escala e também minimizar as chances de erros durante as avaliações. Normalmente, os radiologistas utilizam informações complementares para suas tomadas de decisão, como a história clínica do paciente ou resultados de outros testes (AKGÜL et al., 2010). Neste contexto, têm sido introduzidos sistemas de apoio à decisão, como a busca de imagens por conteúdo ou similaridade - CBIR, cujo objetivo principal é facilitar a consulta a imagens semelhantes aos casos analisados pelos radiologistas.

2.1 Recuperação de Imagens Baseada em Conteúdo

Conforme Müller et al. (2004), o CBIR tornou-se uma das áreas de pesquisa mais estudadas no campo de visão computacional no início deste século. As disponibilidades de grandes quantidades de dados multimídia e as evoluções da Internet implicam na necessidade de criação de novos métodos de acesso e visualização. Existem pelo menos três grandes domínios nos quais a recuperação de imagens médicas pode ser útil: ensino, pesquisa e diagnóstico (MÜLLER et al., 2004). No primeiro, professores podem pesquisar casos de relevância nos grandes repositórios de imagens médicas e apresentar a seus alunos, elevando a qualidade do ensino. Na pesquisa, mais opções na escolha dos casos e/ou a combinação de várias fontes em um mesmo estudo permitem a criação de novos métodos e realização de testes de comprovação mais precisos. Por fim, o mais importante e difícil de ser implementado, é a utilização como ferramenta para assistência ao diagnóstico, onde algoritmos devem provar sua sensibilidade e especificidade e, assim, serem consideradas ferramentas úteis pelos radiologistas.

Processos de tomada de decisões clínicas envolvem duas ideias principais. Uma delas é obter casos com aparência visual similar, utilizando vários casos como base para um novo estudo. A outra é a comparação de um caso novo com casos normais, ou seja, o caso inverso, também chamado de busca por dissimilaridade (MÜLLER et al., 2004). Um tumor ou fratura são diferentes de um caso normal, podendo ser destacado em uma determinada região da imagem onde ocorrer a maior diferença de um determinado padrão. De certa forma, o processo manual e repetitivo desses métodos torna-se exaustivo, e novas tecnologias podem auxiliar no procedimento de interpretação. Assim, nota-se a importância do desenvolvimento de ferramentas automatizadas que auxiliam na formulação de diagnósticos para cada tipo de doença patológica.

Para Welter (2011), as consultas tradicionais (baseadas no nome do paciente, tipo de exame ou equipamento utilizado), que representam as formas mais comumente utilizadas em uma base de dados DICOM, por serem digitadas manualmente, apresentam algumas desvantagens. Dentre essas, destaca-se os possíveis erros de digitação, falta de parâmetros de consulta, e o conseqüente carregamento e apresentação de informações não desejadas. No contexto dos CAD, uma consulta baseada em conteúdo, provê ao médico radiologista o auxílio ao diagnóstico de forma automatizada, por meio de informações e evidências adicionais.

O CBIR tem potencial para melhorar a qualidade e eficiência dos processos clínicos, e

muitos protótipos desse tipo de sistemas demonstrado seus principais benefícios para sistemas médicos (CARITÁ et al., 2008, SALOMÃO; AZEVEDO MARQUES, 2011, MÜLLER et al., 2005 & DESEALERS et al., 2008 apud WELTER et al., 2011). Nessas aplicações, os atributos mais utilizados para consulta são cor, textura, forma, estruturas e relacionamento espacial, que servem como chaves para a recuperação das imagens dentro de uma proximidade de similaridade estabelecida previamente.

Entretanto, a utilização de CBIR ainda tem baixa adoção na prática clínica. Inexiste uma definição padrão para integrar os resultados de CAD aos procedimentos de diagnósticos nos hospitais e clínicas (WELTER et al., 2011). A utilização de sistemas de PACS e sua estrutura devem ser avaliadas e projetadas para que haja sucesso na implantação de um sistema de CBIR. Conforme Welter (2011) analisou, os resultados de um CBIR devem estar integrados em um ambiente DICOM, gerenciados por uma arquitetura de PACS, e para tanto, uma forma de se utilizar padrão, seria a utilização de extensão DICOM SR. Afirma, ainda, os sistemas de CBIR, tem falhado justamente pela falta de integração ao padrão DICOM/PACS e os demais sistemas de HIS/RIS (*Hospital/Radiological Information's Systems*), pois não uniformizam o *workflow* do profissional da saúde. Aplicações *stand-alone* caem rapidamente em desuso pela baixa aderência aos procedimentos padrões das instituições.

2.2 DICOM

A busca pela interoperabilidade entre equipamentos diagnósticos fez com que a ACR e a NEMA criassem um comitê com o objetivo de estabelecer um conjunto de padrões para permitir a comunicação entre os diversos equipamentos geradores de imagens (NEMA, 2012). O primeiro ponto discutido foi a definição de um instrumento que permitisse a transferência e o compartilhamento de informações de exames entre equipamentos de fornecedores diferentes. O trabalho do comitê teve início em 1982 e a primeira versão foi divulgada em 1985, especificando um formato de transferência de informação ponto-a-ponto. A segunda versão do padrão foi publicada em 1988, como ACR-NEMA 2.0, e apresentou diversas melhorias em relação à primeira versão. Em 1992, protocolos de rede foram incluídos no padrão, e a nova versão que resultou recebeu o nome de *Digital Imaging and Communications in Medicine* - DICOM 3.0 (HUANG, 2010).

O DICOM representa, portanto, o esforço de muitos anos para se criar o padrão mais fundamental e universal para imagens médicas digitais (PIANYKH, 2010). O protocolo de

comunicação fornece todas as ferramentas necessárias para a representação e processamento de imagens médicas com qualidade diagnóstica. O DICOM, não representa somente um formato de arquivo de imagem, a sua definição engloba os formatos de transferência, armazenamento, a apresentação visual dos exames. O padrão assegura qualidade e desempenho no processo de diagnóstico por imagens, oferecendo:

- A. Um padrão universal para medicina digital: todos os atuais equipamentos diagnósticos que geram imagens digitais as produzem no formato DICOM. Os *workflows* em clínicas e hospitais que realizam exames de diagnóstico por imagens são controlados por regras do padrão.
- B. Imagens digitais com qualidade diagnóstica: o DICOM suporta imagens com mais de 8 *bits* de tonalidades de cinza em imagens monocromáticas, o que permite as mais tênues diferenciações entre estruturas fisiológicas.
- C. Suporta os diversos parâmetros de aquisição e diferentes formatos de armazenamento das informações: o DICOM não armazena somente imagens, mas também um grande conjunto de informações associadas ao exame, como a posição do paciente no espaço 3D, calibragem espacial para medições, distância entre as imagens de uma série (no caso de imagens *multislice*), condições exposição, captura e outros. Esse conjunto de informações adicionais às imagens facilitam o processamento e interpretação os exames.
- D. Padroniza a funcionalidade dos equipamentos médicos: o DICOM define o comportamento do equipamento diagnóstico de uma forma precisa e independente de fornecedor. A utilização do padrão organiza os fluxos dentro da instituição, diminuindo erros no processo e melhorando a eficiência.

Todos os dados reais - pacientes, exames, equipamento diagnósticos e demais informações pertinentes - são vistos pelo DICOM como objetos e possuem seus respectivos atributos e propriedades. As definições destes objetos e seus atributos são padronizados pelo DICOM através dos *Information Object Definitions* (IODs). Cada IOD pode ser pensado como uma coleção de atributos que descrevem cada objeto particularmente. Por exemplo, o IOD do paciente pode ser descrito pelo nome, identificador (ID), sexo, idade, peso, fumante/não fumante, e demais dados demográficos. Para manter a consistência da nomenclatura, o DICOM mantém uma listagem de todos os atributos padrões, atualmente são mais de 2000, conhecida como DICOM

data dictionary. Todos os atributos DICOM são formatados de acordo com 27 tipos - *Value Representation (VR)*, que correspondem aos formatos de representação de datas, hora, texto etc.

Assim que os dados dos estudos/exames são capturados, estes podem ser transmitidos e processados por vários equipamentos e software compatíveis com o padrão. Essas entidades, em uma rede DICOM, são chamadas *Application Entities (AEs)*. Cada AE é responsável por prover serviços para os demais integrantes da rede.

Como cada serviço envolve geralmente a troca de dados, ocorre o processo de associação entre as AEs e seus tipos de informações (IODs). O DICOM chama essas associações de *Service-Object Pairs (SOPs)*. Por exemplo, como apresentado na Figura 2.1, o armazenamento de um exame de Tomografia Computadorizada (CT) em um servidor - *CT Storage Service*. Nesse caso, o exame representa um DICOM IOD, e o CT faz a requisição do serviço de armazenamento para o servidor, e o servidor provê esse serviço ao CT. Para diferenciar entre quem provê e quem requer, o DICOM define quem inicia o processo como *Service Class User (SCU)* e quem responde como *Service Class Provider (SCP)*.

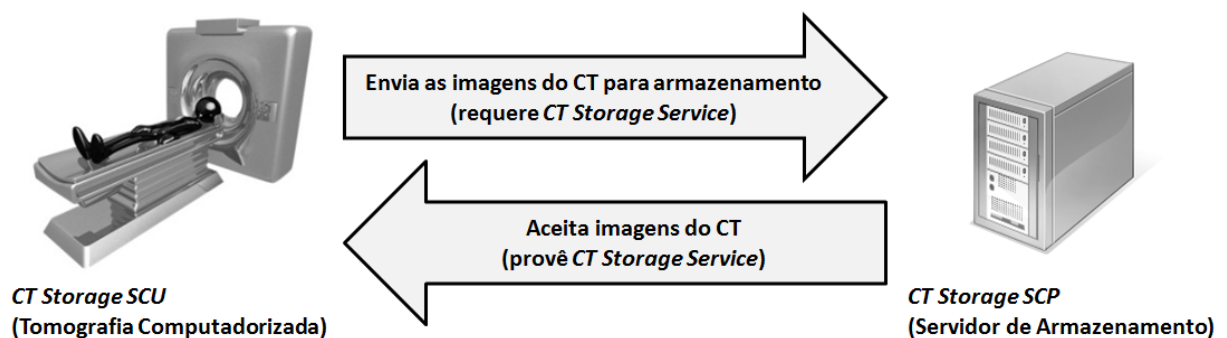


Figura 2.1 – Troca de mensagens entre modalidade diagnóstica e servidor PACS.

Duas entidades em uma rede DICOM precisam negociar o formato de troca de informação. O formato de transferência da informação é chamado *Presentation Context*. Após duas entidades combinarem seus *Presentation Context*, estas podem iniciar os processos SCU-SCP. Devido ao fato de existirem milhares de fabricantes diferentes, cada equipamento deve ser acompanhado da sua própria definição de conformidade com o padrão. Essas definições devem apresentar quais são os tipos de serviços SOPs que o equipamento é compatível (SCU, SCP ou ambos). Dessa forma, é importante, no processo de aquisição dos equipamentos diagnósticos e softwares, saber quais são suas compatibilidades, tanto para envio de exames, como para o recebimento.

A descrição do padrão DICOM é constantemente revisada e possui diversas extensões. Uma extensão muito utilizada é o DICOM SR, que permite a formatação para troca de dados estruturados e informações codificadas como relatórios médicos, medições, registro de procedimentos e resultados de CAD. A ideia, o desenvolvimento e a padronização de dados médicos necessitam de consistência e precisão ao representar suas informações, garantindo o deslocamento de dados e, principalmente, permitindo a comunicação entre diferentes sistemas de informações. Atualmente, muitos sistemas não são baseados em padrões, prejudicando a qualidade e a eficiência na elaboração de diagnósticos e relatórios, assim como, dificultando qualquer rotina ou tarefa associado a banco de dados (BARCELLOS JR; WANGENHEIM; ANDRADE, 2011).

2.2.1 DICOM SR

O padrão DICOM SR define como devem ser formatados e codificados documentos que guardam informações sobre exames, diagnósticos, e demais procedimentos clínicos a serem adotados para um tratamento ser realizado com sucesso. Para Hussein (2004), o padrão tem se tornado um poderoso formato para garantir precisão e compatibilidade na documentação clínica que, conseqüentemente, melhora a acurácia do diagnóstico, reduzindo tempo e erros do processo, com melhor gerenciamento da informação. O DICOM SR estabelece regras de como compor os documentos com informações médicas, que podem conter referências a outras instâncias DICOM como imagens, formas de áudio, regiões de interesse e outros relatórios estruturados. Também utilizam uma terminologia controlada, evitando ambiguidades da linguagem e facilitando a compreensão automática de conteúdo, pesquisas e internacionalização. O modelo SR sugere nomes ou restringe conceitos, tipos de relacionamentos, tipos de valores, e define o valor para uma determinada aplicação (BORTOLUZZI; WANGENHEIM; MAXIMINI, 2003).

Conforme Clunie (2000), o DICOM SR tem significados diferentes para os diversos atores no contexto do padrão DICOM. Um médico radiologista, por exemplo, vê o SR como uma forma de representação do laudo, organizando blocos de textos de achados radiológicos e os termos técnicos associados. O programador do software que faz medições em imagens de ultrassom pode visualizar o DICOM SR com uma hierarquia de números que representam mensurações (comprimento de um fêmur, estimativas de idade fetal, códigos de identificação, e outros). O fabricante de um monitor cardíaco pode visualizar no SR uma ferramenta para codificar medições de tempo.

O que faz do DICOM SR um padrão universal para englobar essas alternativas é a pos-

sibilidade de:

- A. Estabelecer relações hierárquicas dos dados;
- B. Utilizar codificação numérica de forma adicional ao texto puro;
- C. Estabelecer relacionamentos entre conceitos pré-definidos;
- D. Referenciar imagens e demais objetos do padrão DICOM.

No DICOM SR, cada documento gerado codifica seu próprio significado, porém não define seu formato de apresentação, impressão ou visualização. O significado único tem por objetivo evitar ambiguidades. Esse tipo de documento pode ser comparado à XML (*eXtensible Markup Language*), que contém *tags* - identificadores, que identificam a informação, mas não explicita a forma de apresentação. Do mesmo modo que para XML utilizam-se ferramentas de formatação visual XSL (*eXtensible Stylesheet Language*) ou CSS (*Cascading Style Sheets*), o DICOM SR define as informações armazenadas em um interpretador que conhece o tipo de informação codificada, podendo ser usado para apresentar os dados em um formato legível.

O conteúdo de um documento DICOM SR pode ser estruturado de acordo com *templates* que são definidos em uma das DICOM PS (conjuntos de definições do padrão). A definição de *templates* é descrita no DICOM *Content Mapping Resource* - DCMR (NEMA, 2012). Estes também podem ser definidos pelos fabricantes, ou seja, é possível a criação de um modelo próprio de representação de dados para uma aplicação específica. Os *templates* podem ser utilizados de forma mais genérica através de SR SOP *Class* de propósito geral, ou de forma mais específica, definir um domínio particular de aplicação, por exemplo, um CAD SR SOP *Class* para exames de mamografia, que tenha uma estrutura mais rígida. Esse tipo de definição tem por objetivo garantir interoperabilidade, ou seja, os diversos atores de uma rede DICOM poderão interpretar o documento SR se tiverem conhecimento do *template* definido (CLUNIE, 2000).

Para Salomão (2011), um sistema de CBIR utilizando o DICOM SR seria mais completo por utilizar padrões para a codificação de documentos e incorporar referências para imagens médicas e dados relacionados, bem como serviços para a transmissão e troca de informação. Welter (2011) afirma que o futuro de aplicações CAD está na utilização do DICOM SR e diversos fornecedores tem iniciado a adoção de documentos SR para armazenar resultados desse tipo de aplicação. Welter (2011) ainda analisou algumas implementações de sistemas de CBIR. Dentre

essas, cbPACS (TRAINA et al., 2005 apud WELTER et al., 2011) e COBRA (EL-KWAE et al., 2000 apud WELTER et al., 2011), onde foi constatado que as implementações não incluíam o conceito de armazenamento dos resultados de CBIR dentro de um padrão que permita a consulta dos resultados por outros componentes de uma rede DICOM, de forma independente de fornecedor. Ainda, sugere a utilização do DICOM SR e dos *templates* para atacar essa problemática, os quais vêm sendo definidos por diversos *experts* da área como, por exemplo, o CAD SR (TID 4000) para exames de mamografia e CAD SR (TID 4100) para tórax.

2.3 PACS

Os sistemas de PACS (*Picture Archiving and Communication System*) têm ganhado importância nos últimos anos, na medida em que cresce a adoção de equipamentos geradores de imagens digitais por hospitais e clínicas. Percebe-se que essas instituições de pequeno e médio porte, no Brasil principalmente, começaram o processo de digitalização através da compra de CRs (*Computed Radiography*) (Figura 2.2). Esse tipo de equipamento permite a migração do processo químico de revelação de filmes de raios X para o digital. Nelas, no lugar do filme tradicional, são utilizadas placas de material fosforescente que são sensibilizadas pelos raios X. Posteriormente, um leitor estimulado a laser faz a varredura das placas produzindo a imagem digital do exame.



Figura 2.2 – CR - equipamento para digitalização de raios X. Fonte: Carestream Health (2012).

O aumento do volume de imagens digitais geradas por CRs, equipamentos de Tomografia Computadorizada, Ressonância Magnética, Ultrassom, dentre outros, cria a necessidade da organização do fluxo de informação dentro das instituições da saúde. O armazenamento e distribuição dessas imagens, seja para o médico radiologista realizar o diagnóstico ou para o médico solicitante do exame verificar o resultado, passa a ser crítico para o sucesso de todo o procedimento. Dessa forma, os sistemas de PACS surgem para organizar o fluxo de informação e garantir que todos os envolvidos no processo possam desempenhar suas atividades mais eficientemente. O PACS está presente desde o momento da aquisição das imagens, geradas pelas diversas modalidades diagnósticas, armazenando com redundância, para segurança, transferindo as imagens para as *Workstations* de interpretação, onde são analisadas pelos radiologistas, até, finalmente, a distribuição dos exames, com seus resultados/laudos, para a visualização de quem os solicitou. Os PACS estão intimamente vinculados ao padrão DICOM, pois utilizam as definições do padrão para fazer a comunicação das informações entre os diversos atores do contexto do diagnóstico (Figura 2.3). Conforme Pianykh (2010), o PACS traz o padrão DICOM à vida.

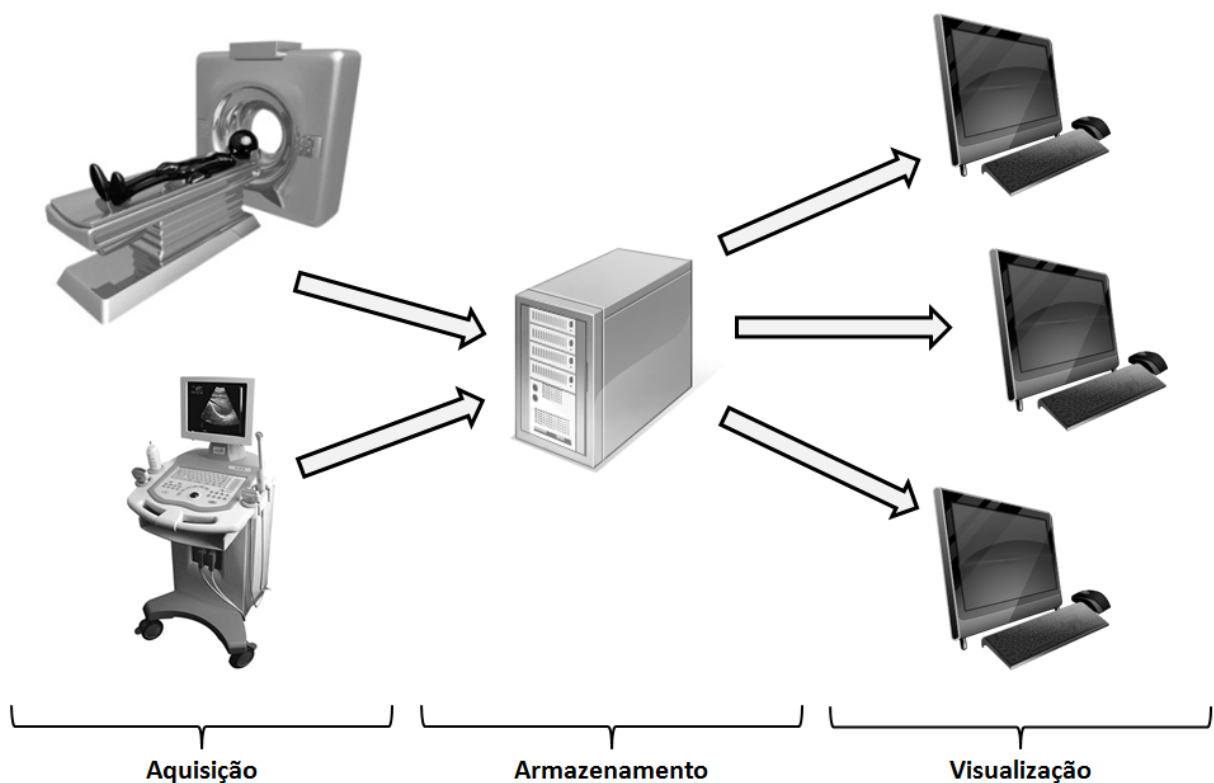


Figura 2.3 – Componentes de uma rede DICOM. Aquisição - modalidades diagnósticas; Armazenamento - sistema de PACS; Visualização e interpretação - *Workstations* para diagnóstico.

Os principais componentes de um PACS, conforme mencionado, são a aplicação para recebimento das imagens digitais, o serviço de armazenamento e os softwares para interpretação (*Workstations*). Ainda podem fazer parte do sistema, interfaces de visualização web e *mobile* que, por sua vez, facilitam o processo de distribuição dos resultados dos exames, vinculando imagens e laudos. O PACS pode, ainda, ser integrado aos sistemas de gestão das instituições de saúde, chamados HIS (*Hospital Information System*), RIS (*Radiological Information System*) ou CIS (*Clinical Information System*). Esses sistemas têm funções mais administrativas, ou seja, provendo ferramentas para o controle financeiro/contábil, gestão de estoques, recursos humanos, convênios de saúde, agendamentos, prontuário eletrônico do paciente, dentre outros.

Ao receber uma nova imagem do equipamento médico, o PACS busca vincular o exame aos dados do paciente que estão armazenados no sistema de gestão. Esse casamento de dados é fundamental para que os profissionais acessem informações completas sobre o paciente. Na maioria das vezes, os laudos são digitados e armazenados no sistema de gestão e a distribuição do resultado (laudo + imagem) depende desse tipo de integração.

Para Huang (2010), uma das maiores complexidades para um PACS é a parte da aquisição, pois as modalidades diagnósticas não são controladas pelo sistema e cada equipamento possui sua implementação do DICOM, as quais, muitas vezes, não é compatível com todas as definições do padrão. Além disso, alguns equipamentos mais antigos não são DICOM *compliant* - compatíveis com o padrão. Para esses casos, é necessário realizar a “*dicomização*” dos arquivos de digitais, para que esses possam trafegar dentro do mesmo fluxo da organização. A aquisição é um das etapas mais lentas do processo, porque envolve o tempo de realização do exame e a preparação do mesmo, com edição, processamento e reconstruções, para posterior envio ao PACS. O PACS, por sua vez deve lidar com eventuais inconsistências no processo de recebimento e garantir que os dados possam ser lidos pelos demais integrantes da rede DICOM. Conforme analisado por Huang (2010), as principais funções de um sistema de PACS são:

- A. Receber os exames das modalidades diagnósticas;
- B. Extrair e indexar a informação textual do exame DICOM;
- C. Determinar o destino das imagens, definindo quem poderá receber os exames para análise;
- D. Realizar ajustes nas imagens, se necessários, como orientação espacial, brilho e contraste;
- E. Verificar a integridade das informações recebidas;

- F. Realizar a compressão das imagens para melhor aproveitamento do espaço de armazenamento;
- G. Arquivar os exames em armazenamento de longo prazo;
- H. Prover serviços de *query/retrieve*, para que *Workstations* ou outros sistemas de PACS possam consultar as informações/imagens armazenadas.

Outro componente de grande relevância em uma rede DICOM são as *Workstations* de interpretação ou estações de trabalho. Uma *Workstation* implementa o padrão DICOM para comunicação com os sistemas de PACS e com as modalidades diagnósticas, possuindo, muitas vezes, uma base local para armazenamento temporário dos exames. A função principal das *Workstations* é a visualização das imagens com qualidade diagnóstica. Para melhor cumprir esta função, as *Workstations* possuem ferramentas pra processamento e reconstruções 3D que auxiliam o radiologista. Para garantir a qualidade da interpretação de exames de alta resolução, como a mamografia digital, as *Workstations* são dotadas de monitores com mais de 3 *mega pixel*.

As *Workstations* podem, ainda, consultar o PACS para buscar exames mais antigos do paciente que está sendo avaliado. Outro conceito que vem sendo utilizados pelos fabricantes é a divisão entre *thin client* e *thick/smart/fat client Workstation*. No primeiro caso, *thin client*, o processamento pesado, como reconstruções 3D ou processamentos de CAD são realizados em servidor com grande capacidade de cálculo e a estação de trabalho somente apresenta os resultados ao radiologista. No caso da abordagem *thick client*, a *Workstation* realiza localmente todas as operações avançadas que o radiologista necessita para interpretação. Ambos os casos possuem vantagens e desvantagens, e cabe ao profissional da saúde escolher a opção que lhe mais convier. Para Huang (2010) as principais funções de uma *Workstation* são:

- A. Apresentação das imagens para a interpretação do radiologista, permitindo a organização dos elementos na tela e ajustes conforme as preferências do usuário;
- B. Realização de *query/retrieve* para recuperação dos exames em base de PACS ou diretamente na modalidade diagnóstica;
- C. Manipulação das imagens: *zoom*, medições, brilho/contraste, navegação em exames *multislice*;

- D. Anotação textual sobre as imagens, para integrar ao laudo e registro de laudo narrado;
- E. Reconstrução de exames *multislice*, com processamento, segmentação e operações 3D.

2.3.1 PACS *Workflow*

Um fluxo de trabalho em um hospital/clínica que possui um sistema de PACS integrado pode ocorrer de forma genérica conforme descrito a seguir. O processo inicia com o registro do paciente do no sistema de HIS/RIS, segue com a realização do exame pelo técnico radiologista, armazenamento, interpretação e laudo pelo médico radiologista, e distribuição dos resultados para os médicos solicitantes.

As etapas do fluxo de trabalho são descritas a seguir e representadas na Figura 2.4.

1. O paciente que realizará o exame, encaminhado pelo médico solicitante, tem seus dados registrados no HIS/RIS. Um número identificador é gerado para o exame em questão.
2. Os dados demográficos do paciente são capturados pelo servidor de *worklist*. O servidor de *worklist* pode ser implementado pelo RIS/HIS ou pelo PACS e irá alimentar a modalidade diagnóstica, sem que haja a redigitação dos dados do paciente.
3. O paciente chega à modalidade diagnóstica onde o exame será realizado. A modalidade consulta os dados do paciente no servidor de *worklist*. Esse procedimento agiliza o processo e evita erros humanos.
4. O técnico radiologista faz a aquisição das imagens e estas são enviadas para armazenamento no PACS. Os dados que vem do servidor do *worklist* povoam os campos do arquivo DICOM gerado.
5. As imagens podem ser buscadas no PACS pelas *Workstations* de diagnóstico, ou a modalidade pode enviar uma cópia do exame para uma *Workstation* de forma direta, agilizando o processo.
6. O radiologista visualiza o exame na *Workstation* e realiza o diagnóstico. Muitas vezes o médico dita o laudo e o áudio gravado é utilizado para posterior digitação.
7. Os digitadores transcrevem o laudo com base no áudio narrado e o texto é armazenado, geralmente, no sistema de RIS/HIS. O laudo textual é associado ao mesmo identificador que foi gerado no registro inicial do paciente.

8. O resultado (imagem e laudo) é impresso para entrega ao paciente/médico solicitante. Também é possível o acesso pelo médico solicitante, através da Internet, aos exames e laudos dos pacientes por ele encaminhados.

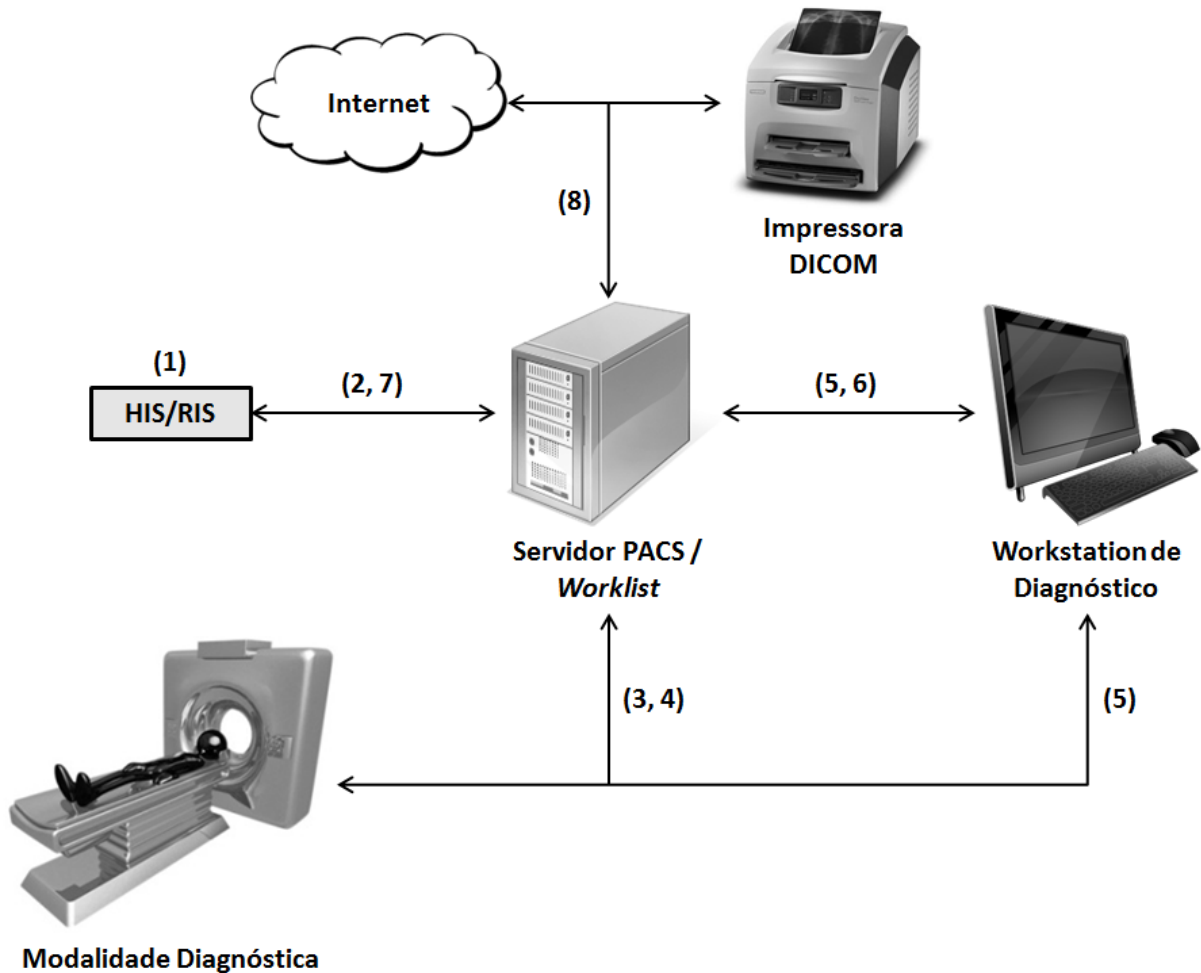


Figura 2.4 – Fluxo de trabalho de um sistema PACS.

2.3.2 Animati PACS

O Animati PACS é um sistema para armazenamento e comunicação de imagens diagnósticas desenvolvido pela empresa Animati Computação Aplicada, com sede em Santa Maria, RS, Brasil. O sistema implementa um DICOM SERVER em conformidade com padrões internacionais e que pode ser conectado às modalidades diagnósticas compatíveis com o protocolo DICOM. Possui funcionalidade de *query/retrieve*, para conexão com *Workstations* de diagnósticos e demais equipamentos. O Animati PACS apresenta uma interface web para acesso aos exames por meio de autenticação segura de usuários e senha. Através dessa interface o usuário pode

pesquisar os exames do banco de dados por meio de filtros e visualizar os resultados obtidos em lista ou em *thumbnails* (Figura 2.5 e 2.6). Este PACS também provê dois tipos de visualizadores para imagens diagnósticas. Um é lançado dentro do navegador Internet e tem função de consulta e referência, possibilitando a distribuição dos exames para pacientes/médicos solicitantes e reduzindo a necessidade de impressão de filmes e os custos associados. O outro baixa uma aplicação *desktop* para o computador e armazena o exame/análise temporariamente no repositório local - utilizado pelo médico radiologista - permitindo o laudo externo ao hospital/clínica e também o acesso através da Internet.

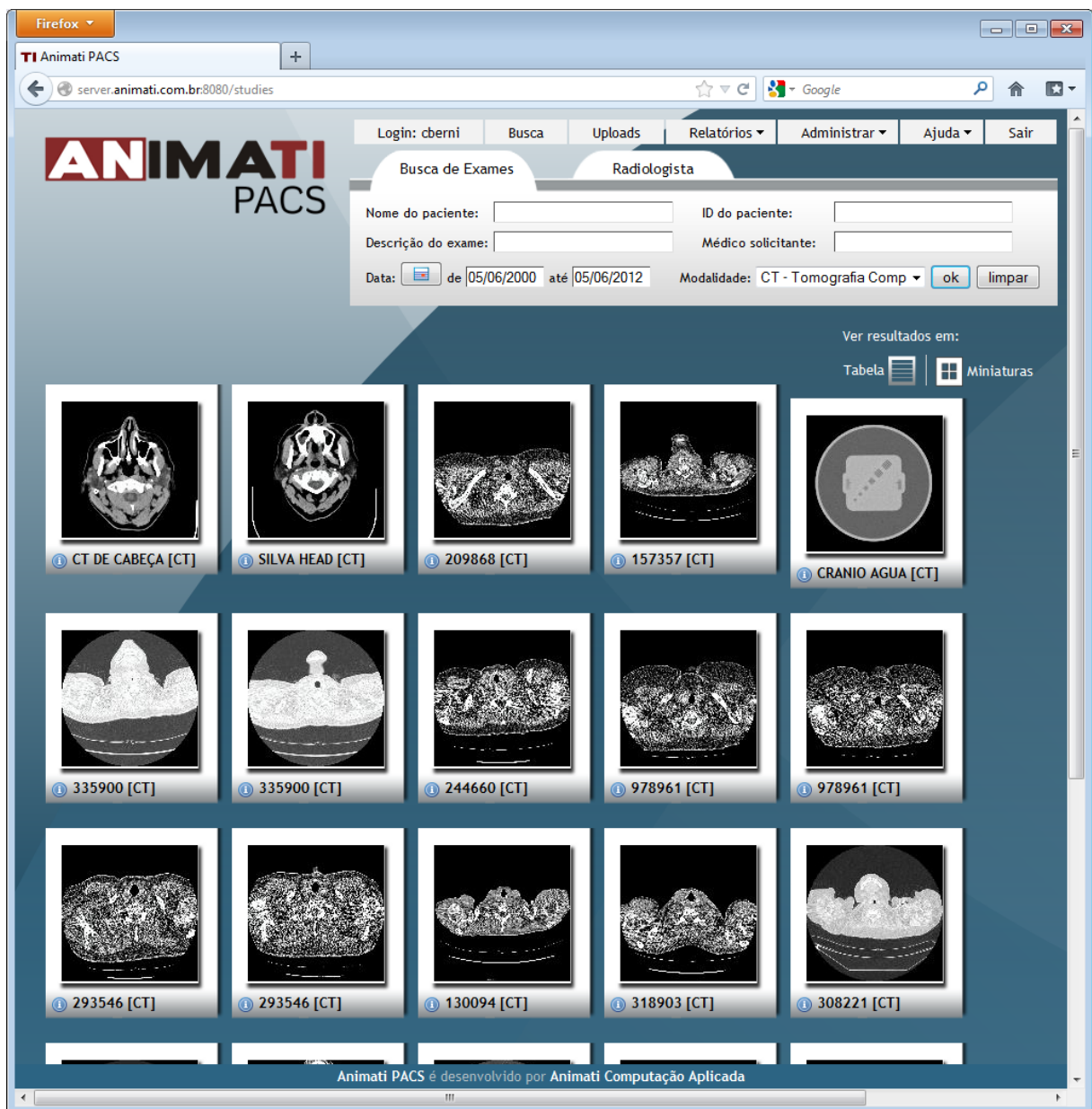


Figura 2.5 – Interface web do Animati PACS exibindo resultados em forma de miniaturas (*thumbnails*).

The screenshot shows the Animati PACS web interface in a Firefox browser. The address bar displays 'server.animati.com.br:8080/studies'. The page features a navigation menu with options like 'Login: cberni', 'Busca', 'Uploads', 'Relatórios', 'Administrar', 'Ajuda', and 'Sair'. A search form is visible with fields for 'Nome do paciente', 'ID do paciente', 'Descrição do exame', 'Médico solicitante', 'Data' (ranging from 16/08/2011 to 04/09/2012), and 'Modalidade'. Below the search form, there is a notification: 'Você tem 1 laudo(s) para liberar. Clique aqui para acessá-lo(s)'. The main content area displays a table of exam results with columns for ID, Nome do Paciente, Realizante, Data do Exame, Modalidade(s), Descrição do Exame, Laudo, Prioridade, and Médico solicitante. The table contains 13 records, with the first few rows showing exams like 'COLUNA LOMBAR - 2 TOMADAS', 'SEIOS DA FACE', and 'U.S. DAS MAMAS'. The interface also includes pagination controls and a footer stating 'Animati PACS é desenvolvido por Animati Computação Aplicada'.

ID	Nome do Paciente	Realizante	Data do Exame	Modalidade(s)	Descrição do Exame	Laudo	Prioridade	Médico solicitante
152454			04/09/2012 09:13	CR	COLUNA LOMBAR - 2 TOMADAS	Baixar laudo		
391###			03/09/2012 15:01	DX	SEIOS DA FACE			
1046##			03/09/2012 09:40	US	U.S. DAS MAMAS			
4#55			03/09/2012 09:09	CR	MAMA - DENSA HETEROGENEA			
1059\$			03/09/2012 09:08	US	U.S. TRANSVAGINAL			
112#2			03/09/2012 08:48	US	ABD SUP (FÍG, VIAS BILIARES, VESÍCULA, PÂNC E BAÇO)			
1134#\$			03/09/2012 08:20	DX	SEIOS DA FACE			
1#34#4			03/09/2012 08:00	DX	ESOPHAGUS			
34####			22/08/2012 16:47	ECG	ELETROCARDIOGRAMA		Urgente	
6			08/06/2012 16:15	CR	TÓRAX ADULTO - 2 TOMADAS	Não liberado	Média	
97			05/04/2012 10:01	CT	HEAD*CRANIO_ROTINA_CC (ADULT)		Baixa	
10026100			13/03/2012 16:35	CR	ESCOLIOSE AP E LAT	Não liberado	Alta	
80463			11/10/2011 00:00	CT	HEAD*CRANIO_ROTINA_CC			

Figura 2.6 – Interface web do Animati PACS exibindo resultados em forma de lista.

O sistema permite a gestão centralizada das imagens diagnósticas digitais e controla o ciclo de vida dos exames armazenados, possibilitando o aumento da capacidade de armazenamento conforme necessidade, através da compactação de imagens, e a utilização de sistemas de redundância (RAID, *storages* de *backup*, etc). Os radiologistas têm ainda, à sua disposição, ferramentas de organização do trabalho, podendo personalizar o sistema para melhor se adequar à rotina de cada instituição. Também é possível acompanhar o fluxo de trabalho pela interface web, evitando a repetição de trabalho e o excesso de comunicação em papel.

As principais características do Animati PACS incluem:

- A. Disponibilização das imagens aos médicos solicitantes e pacientes minutos após o procedimento;
- B. Redução do número de impressões em filme, já que os médicos podem ter acesso às imagens pela Internet;
- C. Redução de custos e desperdícios: a clínica/hospital usa menos papel em processos internos, repete menos impressões de exames, e pode reduzir a distribuição de papeis e filmes usando a distribuição pela Internet;
- D. Utilização do padrão DICOM, em conformidade com as normas internacionais e mantendo compatibilidades com as mais variadas modalidades diagnósticas;
- E. Compactação das imagens sem perda de informação, para melhor aproveitamento de armazenamento;
- F. Autenticação segura de usuários por usuário e senha;
- G. Servidor de *worklist*, para automação do processo de digitação dos dados dos pacientes nas modalidades diagnósticas;
- H. Compatibilidade com a maioria dos sistemas operacionais do mercado (Windows, MacOS e Linux);
- I. Visualização das imagens através do Animati Workstation (diagnóstico) ou do Animati Web Wiewer (distribuição de resultados).

Conforme mencionado anteriormente, uma das principais funcionalidades do Animati PACS é o processo de armazenamento das imagens diagnósticas através do padrão DICOM. O sistema utiliza APIs *open source* para a implementação do padrão, principalmente os projetos desenvolvidos pela comunidade dcm4che (EVANS, 2012). O dcm4che consiste de um conjunto de aplicações e utilitários *open source* para a área da saúde/diagnóstico por imagens. Os projetos são desenvolvidos na linguagem de programação Java (ORACLE, 2012), buscando conciliar desempenho e portabilidade.

O projeto dcm4che possui tripla licença MPL/GPL/LGPL. Isso permite que o código aberto do projeto também possa ser associado a programas que não estejam sob as licenças GPL ou LGPL, incluindo software proprietário de código fechado. Sendo assim, a Animati

tem utilizado a estratégia de colaborar com a comunidade para a evolução dos componentes de código aberto e ao mesmo tempo, mantém alguns componentes, desenvolvidos através de pesquisa, fechados por um período de tempo para garantir diferencial competitivo para a empresa no mercado. A ideia é liberar os componentes conforme se tornem comuns, ou seja, na medida em que surjam possíveis substitutos.

No desenvolvimento da Animati Workstation (Figura 2.7) para visualização das imagens diagnósticas, a Animati utilizou como base o projeto Weasis (RODUI, 2012). O Weasis é um subprojeto da comunidade dcm4che, desenvolvido na linguagem Java com o objetivo de proporcionar o acesso via web às imagens diagnósticas, oferecendo recursos multimídia. A exemplo do licenciamento do dcm4che, o Weasis também possui um licenciamento mais permissivo, o *Eclipse Public License - EPL*, permitindo que o trabalho derivado a partir da implementação aberta possa conter partes de código fechado proprietário (*Weasis plug-ins*). A Animati vem desenvolvendo diversos módulos integrados ao Weasis para prover o licenciamento Animati Workstation, como por exemplo, os módulos de MPR - Reformatação multiplanar de imagens, impressão de imagens em papel e DICOM Print (PORTO, 2012), módulo para gravação de áudio/laudo narrado, entre outros.

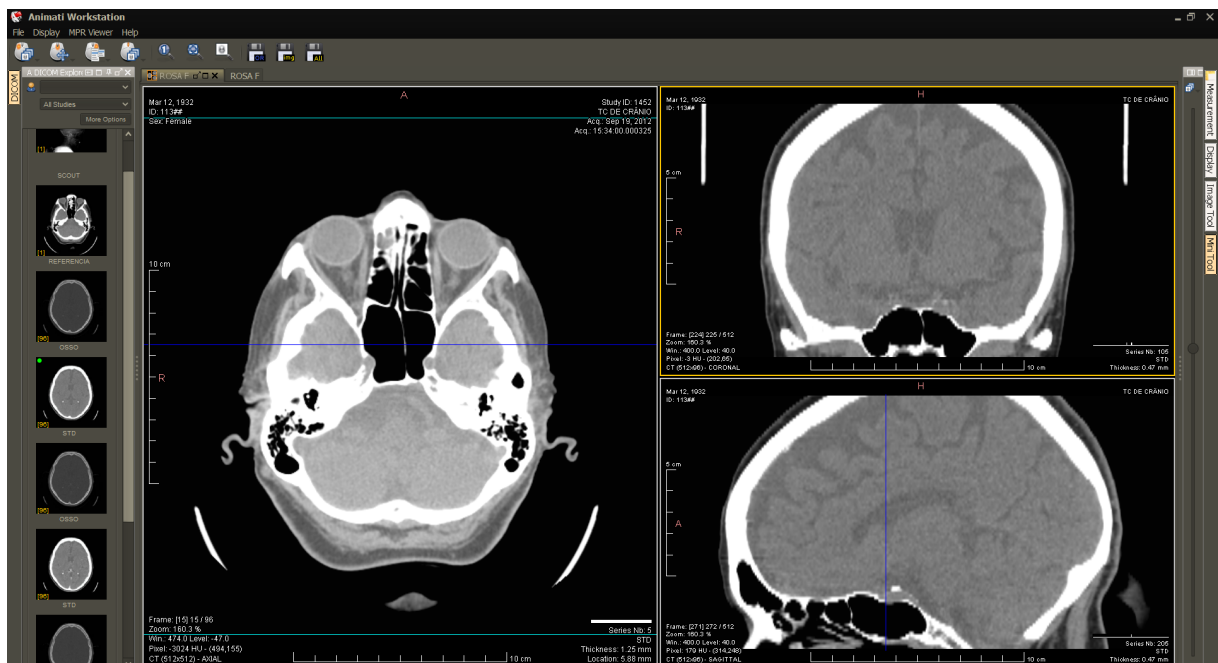


Figura 2.7 – Animati Workstation.

A Animati Workstation é acessada através da web e instalada automaticamente no computador do usuário em seu primeiro acesso. As principais funcionalidades do Animati PACS

são:

- A. Instalação automática através da Internet;
- B. Abertura de exames via Interface de Acesso Web;
- C. Laudo noturno/externo à clínica;
- D. Ferramenta de navegação entre imagens/frames, janelamento, zoom, rotação, *lookup table* (LUT) e Lupa;
- E. Ferramentas de medições de ângulo, densidade, distância, ângulo de Cobb, entre outras;
- F. Reformatação Multiplanar - MPR;
- G. Visualização de planos de referência;
- H. Impressão (DICOM Print e papel).

Ressalta-se que, embora a Animati agregue componentes abertos à sua solução, a empresa ainda é obrigada, pela legislação vigente, a possuir autorização de funcionamento junto ao órgão brasileiro normatizador, a ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, e também proceder com o registro de produto médico. Da mesma forma, quaisquer soluções de software utilizada para fins de diagnóstico médico, de código aberto ou não, deve possuir autorização junto a este órgão.

3 ARQUITETURA MODULAR PARA SUPORTE A CBIR

A busca de casos similares de imagens médicas baseando a consulta somente em informação textual é uma tarefa de difícil execução (LIU et al., 2000). Sistemas de CBIR, dentre as vantagens citadas anteriormente, também são benéficos para o treinamento de novos profissionais radiologistas. Estes, por sua vez podem comparar casos e aprender com diagnósticos realizados previamente. A busca de imagens por similaridade utiliza, principalmente, as propriedades ou características visuais de uma imagem digital como, por exemplo, textura, histograma ou descritores de formas, que são armazenadas em banco de dados para posterior consulta. A busca das imagens é feita comparando-se as informações extraídas da imagem objeto de consulta com os valores que representam as demais imagens da base de dados.

Conforme Welter (2011), para se obter benefícios de um sistema CAD/CBIR, os resultados da utilização do sistema devem ser codificados de acordo com o padrão e incorporados ao fluxo da clínica/hospital, com a devida integração com os sistemas PACS e RIS/HIS, atendendo às demandas dos médicos radiologistas. Conforme Caritá (2008), um sistema de PACS com suporte a busca de imagens por similaridade deve contemplar todo fluxo de uma rede DICOM, com a conexão das modalidades diagnósticas, armazenamento, visualização, recuperação das imagens e laudos mediante alfanuméricas ou textuais, e a recuperação de exames por características das imagens digitais.

No presente trabalho desenvolveu-se uma arquitetura para recuperação de imagens diagnósticas através da busca por similaridade de imagens utilizando as definições do padrão DICOM. A arquitetura oferece uma lógica estrutural (PRESSMAN, 2009) para armazenar e consultar meta-informações de imagens diagnósticas no sistema Animati PACS, e baseia-se nas diretrizes do padrão DICOM. Ainda, a extensão DICOM SR é utilizada para manter e garantir compatibilidade futura com outros possíveis atores de uma rede DICOM, como *Workstations* de diferentes fabricantes, por exemplo.

Para a avaliação e validação da arquitetura utilizou-se um método para extrair e armazenar características/meta-informações de um conjunto de imagens diagnósticas, que será descrito em detalhes na Seção 3.5. A arquitetura ainda fornece uma estrutura que pode ser estendida, ou seja, novos métodos para extração de características podem ser integrados e combinados para complementar o sistema de CBIR. A possibilidade de adicionar novos módulos é fundamental para que se desenvolvam técnicas específicas para os mais variados tipos de exames. Por fim, a

interface com o usuário, onde o médico radiologista pode fazer a busca das imagens similares, foi implementada como um *plug-in* da Animati Workstation.

O sistema foi implementado utilizando linguagem de programação Java e banco de dados MySQL. Por utilizar uma arquitetura modular e com a utilização de padrões de projeto, tanto o código fonte como as tabelas do banco de dados são facilmente instalados em qualquer ambiente de PACS, sendo necessário somente o acesso às tabelas com informações das imagens dos pacientes. Na Figura 3.1 é apresentada uma visão geral da arquitetura e forma como seus componentes interagem e são arranjados. O fluxo das imagens e informações dentro do sistema PACS, que possui a arquitetura de CBIR integrada pode ser descrita da seguinte forma:

- A. Imagem diagnóstica adquirida é enviada para o PACS;
- B. O PACS extrai as informações do arquivo DICOM recebido, completa as tabelas do banco de dados do PACS e envia o arquivo binário DICOM para disco, mantendo a referência para o mesmo;
- C. O módulo de CBIR, de forma cronológica, reconhece a nova imagem inserida no Animati PACS e executa seus métodos;
- D. Método de extração de características/CBIR visuais busca as imagens no banco, via DICOM, e processa os arquivos gerando os vetores de características que representam o exame;
- E. O Método de armazenamento/CBIR do vetor de características envia as informações extraídas para o banco de dados. Esses descritores das imagens são armazenados de forma a facilitar e permitir maior desempenho nas consultas posteriores;
- F. O Método de armazenamento/CBIR gera o arquivo binário DICOM SR e o envia, através do protocolo de comunicação do DICOM para o PACS, onde o mesmo é indexado e armazenado em disco;
- G. O médico radiologista, através da Animati Workstation, que está visualizando uma determinada imagem pode consultar as imagens similares, armazenadas em banco de dados, utilizando a interface/*plug-in* CBIR, desenvolvida para essa finalidade;
- H. Uma vez acionada a interface de busca por similaridade na Animati Workstation, o *plug-in* CBIR efetua busca no servidor e retorna as imagens mais similares;

I. O médico radiologista, por sua vez, seleciona o e estudo/exame que deseja recuperar. A Animatei Workstation recebe a mensagem para abrir o exame através de seu indicador. Esse processo de abertura ocorre através do procedimento padrão de carregamento de imagens na *Workstation*.

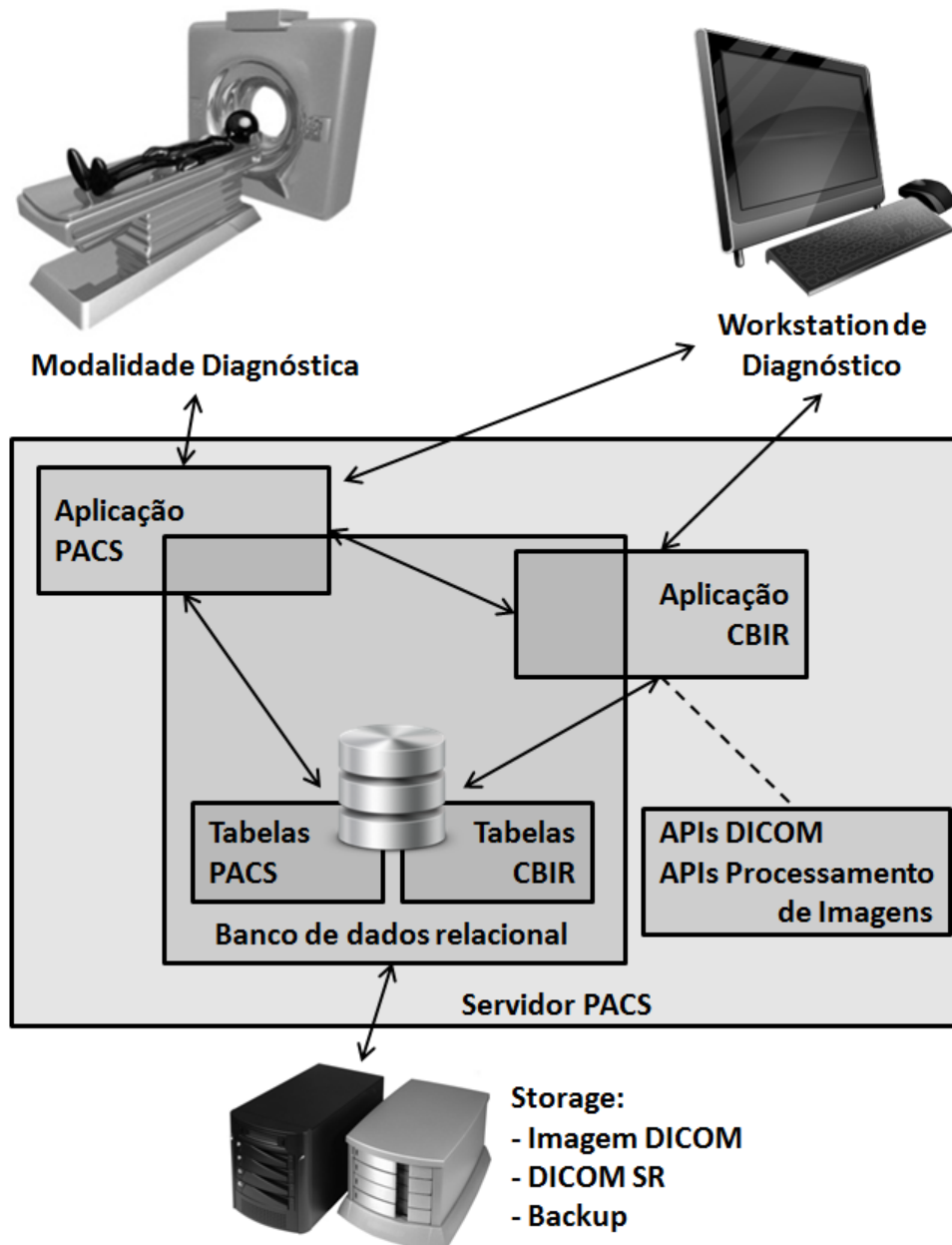


Figura 3.1 – Visão geral da arquitetura do CBIR de imagens diagnósticas implementado em um ambiente de PACS.

Nas próximas seções a arquitetura proposta é descrita em detalhes, a saber: o processo de armazenamento das imagens pelo PACS, o processo de extração das características dessas imagens, a organização das informações em banco dados para consulta, a codificação dos dados

obtidos utilizando o padrão do DICOM e a implementação de um caso de uso para validação da arquitetura. Por fim, a forma como novos métodos de extração de características são inseridos na arquitetura é descrito. A possibilidade de se integrar nos métodos é fundamental para a evolução do método de CBIR, pois, para os diferentes tipos de imagem diagnóstica, podem existir diferentes formas de capturar e armazenar seus descritores visuais.

3.1 Banco de Dados de Imagens

A aplicação Animati PACS roda sobre a plataforma Java e utiliza uma camada de abstração para interface com banco de dados, o Hibernate (RED HAT, 2012). Essa camada permite que o Animati PACS seja independente de sistema gerenciador de banco de dados. Dessa forma, o MySQL, sistema de gerenciamento de banco dados *open source*, foi escolhido por ser robusto e amplamente utilizado em sistemas comerciais com mais de 10 milhões de instalações pelo mundo (ORACLE, 2012), para indexar e armazenar as informações do PACS. É importante ressaltar que os arquivos DICOM não são armazenados dentro do banco de dados, mas sim no sistema de arquivos do sistema operacional, chamado *Storage*, que pode estar localizado na máquina que roda a aplicação ou remotamente. Na base de dados são armazenadas as referências de endereço das imagens em disco e os descritores textuais do exame para consulta. A aplicação do PACS gerencia as informações que detalham os arquivos, geralmente extraídos das *tags* de dados demográficos do arquivo DICOM, que é recebido da modalidade diagnóstica (Figura 3.2).

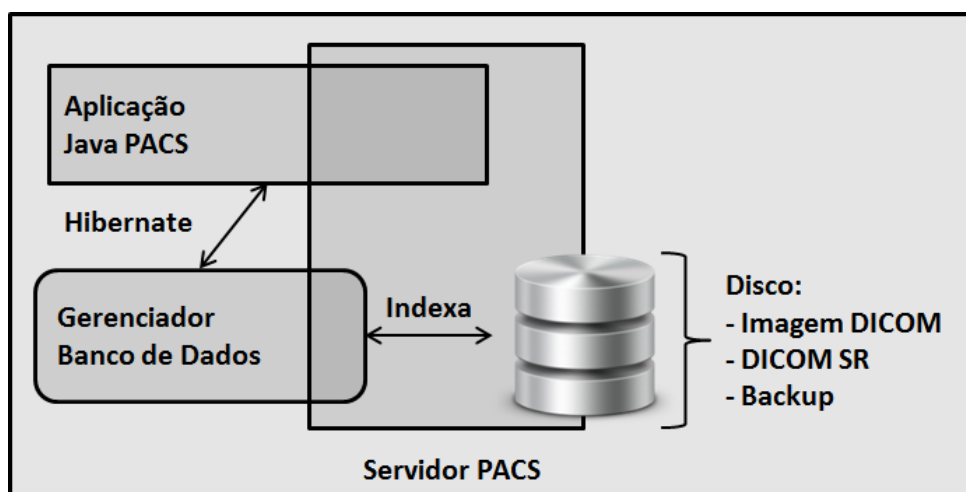


Figura 3.2 – Organização de um servidor que hospeda o Animati PACS.

Além das imagens, também são armazenadas em disco os arquivos que contém infor-

mações adicionais aos exames, no caso da presente arquitetura, o DICOM SR. Conforme apresentado na revisão de literatura, o DICOM SR tem recebido relevante importância do armazenamento de resultados e informações adicionais aos exames codificados no padrão DICOM. Essa forma de guardar e associar dados às imagens diagnósticas direciona o desenvolvimento das aplicações médicas para uma uniformização que visa garantir interoperabilidade e compatibilidade entre os diversos componentes de uma rede DICOM. O Animati PACS também possui tabelas que são utilizadas para armazenar informações relevantes para cada instituição de saúde. As clínicas e hospitais possuem diferentes necessidades de acordo com tamanho, recursos e nível de adoção de tecnologia. Dessa forma, a Animati elaborou uma estratégia para estender a aplicação do PACS.

Pode-se comparar a diferença de desempenho ao acessar dados alfanuméricos em banco de dados com o acesso de arquivos em disco contendo esses mesmos dados. Um banco de dados implementa estratégias para que as buscas possuam melhor desempenho do que uma consulta sequencial a dados armazenados em disco. Logo, é plausível assumir que o armazenamento das características que descrevem as propriedades visuais das imagens deva ser em um banco de dados relacional. Sendo assim, para o CBIR, são armazenados dados representativos dessas características na base de dados para agilizar o processo de consulta e, ainda, essas mesmas informações e demais tipos de dados que não são passíveis de gravação no banco, vão para disco no formato DICOM SR.

3.2 Estrutura de Armazenamento CBIR

Assim que o módulo de CBIR, de forma temporal, identifica uma nova imagem ainda não processada no banco de dados de imagens é iniciada a extração de características através dos métodos de processamento cadastrados nos sistemas. O exame pode ser encaminhado para um ou mais métodos e os valores de retorno são armazenados em banco de dados e servem de base para a criação do arquivo DICOM SR. Na Figura 3.3 observa-se a organização e relacionamento das tabelas do CBIR na base de dados e a forma como o módulo armazena e acessa as informações. Da mesma forma como ocorre no Animati PACS, para o CBIR podem ser criadas e adicionadas ao banco tabelas para representar os novos tipos de informações associados aos exames.

A tabela “animati_cbir” faz referência para a aplicação dos métodos implementados. Ela é alimentada com os valores de busca de todas as imagens retiradas do banco de dados do Animati PACS através de um *inner join* entre as tabelas “animati_patient”, “animati_study”,

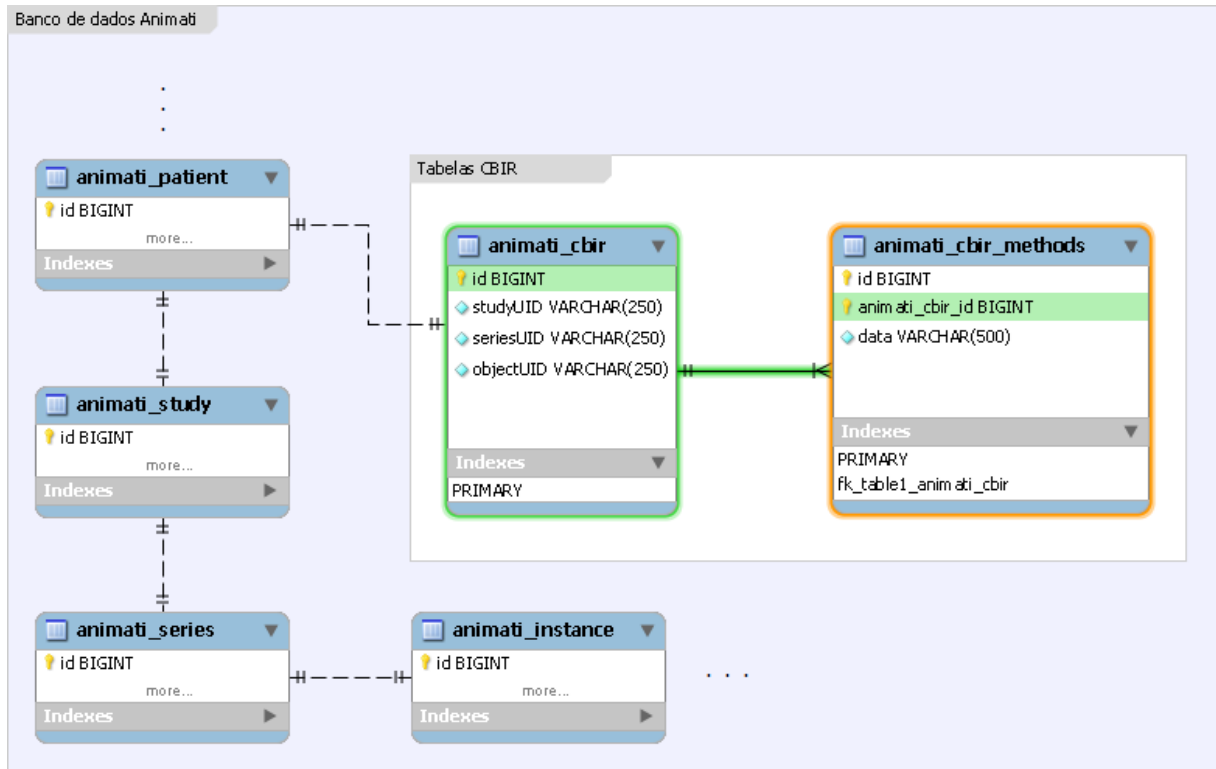


Figura 3.3 – Diagrama de relacionamento das tabelas do CBIR no banco de dados.

“animati_series” e “animati_instance”. Com esses valores adicionados, os valores resultados de cada método são adicionados na tabela “animati_cbir_methods”. Todas as tabelas do banco de dados do Animati PACS são iniciadas com o prefixo “animati_” para manter sua identificação com as integrações entre os sistemas. Assim como na recuperação de imagens, a tabela responsável pelo CBIR também mantém um identificador da imagem.

3.3 Métodos de Extração de Características

Um dos principais componentes do módulo de CBIR é o método que extrai os atributos das imagens. A capacidade de representar as características visuais da imagem influenciará diretamente à qualidade das buscas por similaridade. A classe que extrai as características é executada constantemente em *background* através de rotinas definidas no *crontab* do servidor. Ao ser adicionada uma imagem no ambiente de PACS, o novo objeto DICOM será automaticamente identificado e os métodos de processamento implementados serão aplicados extraindo as informações do exame para armazenamento.

A cada execução no *crontab* a classe principal “CbirWorker” é instanciada (Figura 3.4). Os dados referentes ao banco de dados já devem estar definidos junto com a confi-

guração de execução no servidor. Inicialmente com a função “getImageURLs()”, a conexão com o banco de dados é iniciada através da classe “DataBaseConection” e é executada uma *query* que retorna os dados de referência de todas as imagens do banco que ainda não foram processadas. A partir desses dados, a função retorna as URLs de busca das imagens em formato DICOM do sistema de arquivos do Animati PACS. As URLs geradas são utilizadas na função “openWadoDICOM()” que carrega uma imagem por vez na memória como instâncias da classe “ImageData” e submetidas a execução dos métodos definidos pelo usuário através da função “executeMethodsData()”. No fim da execução de cada método, as funções “saveMethodsData()” e “createDICOMSR()” são chamadas para salvar seus resultados respectivamente no banco de dados e em formato SR. Para a criação do arquivo SR, é utilizando o dcm4che2 Toolkit (EVANS, 2012) e enviado ao sistema via DICOM Send.

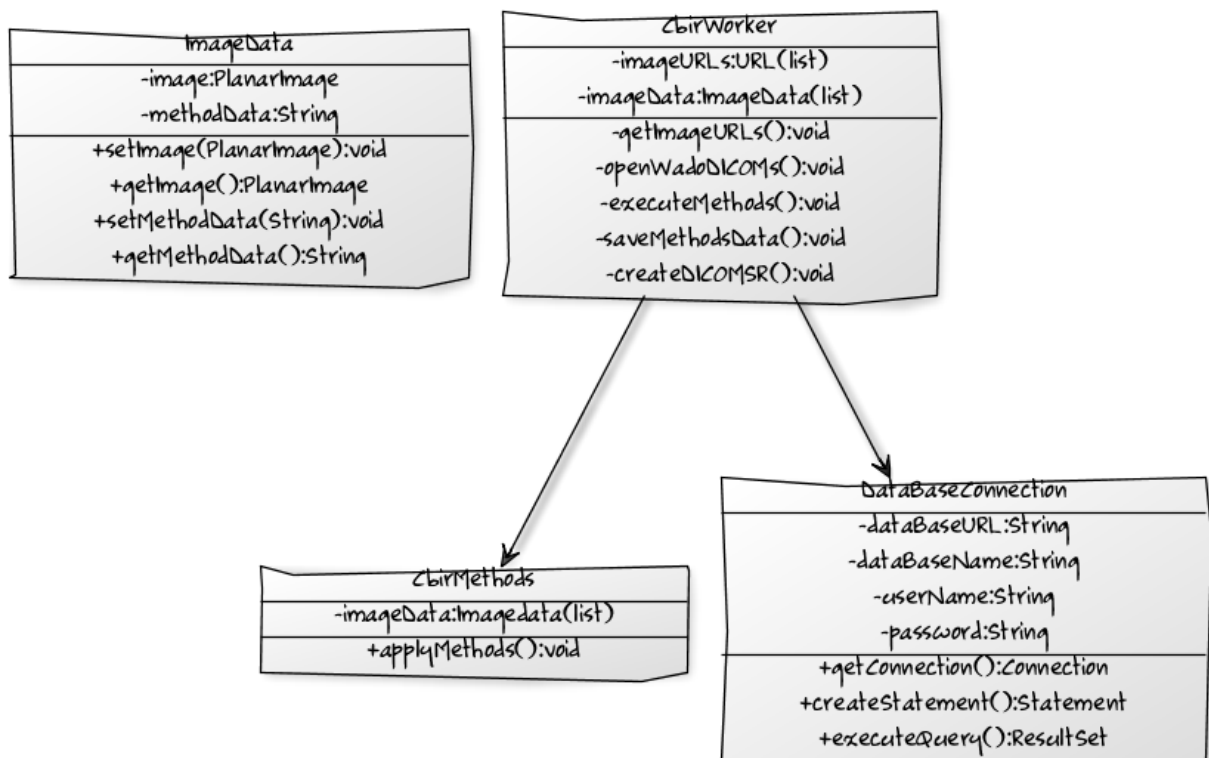


Figura 3.4 – Classes e métodos para extração das características visuais das imagens.

O DICOM SR, conforme mencionado anteriormente, é gerado com o objetivo de manter a compatibilidade com o padrão DICOM e permitir que as futuras implementações sejam beneficiadas pela compatibilidade proporcionada. O objetivo da arquitetura é fornecer todo o arcabouço necessário para extração, armazenamento e consulta das informações pertinentes ao CBIR, portanto, não foram definidos *templates* específicos para a codificação do DICOM SR.

Os *templates* podem ser utilizados conforme descritos no padrão DICOM ou mesmo definidos pelo fornecedor. No caso proposto, o arquivo binário DICOM SR armazenado em disco, contém descritores das imagens organizados de forma simplificada, somente para demonstrar sua funcionalidade. Na próxima seção, é descrito um caso de uso que utiliza imagens de tomografia pulmonar para o processamento e extração de características visuais e a forma como esses dados são utilizados no sistema de CBIR.

3.4 Integração ao Ambiente Animati PACS

A integração da arquitetura do CBIR ao Animati PACS ocorre em dois níveis. O primeiro é a inclusão das aplicações no servidor do PACS, ou seja, a programação do *crontab*, a inclusão das APIs de processamento de imagens, e a adição das tabelas na base de dados que receberão as informações geradas. No segundo nível, está o desenvolvimento das interfaces de acesso pelo usuário final. Existe a preocupação de se desenvolver uma GUI de utilização prática e fácil pelo médico radiologista, pois é sabido que o intervalo de tempo entre um exame e outro vem se reduzindo nas instituições de saúde. Para tanto, foi implementado, na Animati Workstation um *plug-in* de CBIR, que engloba a interface do usuário e os métodos de acesso à arquitetura de busca de imagens por similaridade.

A classe “CbirExplorer” integra ao sistema da Animati Workstation à interface gráfica (Figura 3.5), sendo responsável pela busca e organização das imagens. A classe “CbirSingleton-Data”, por ser um Singleton (GAMMA et al., 1995), cria uma instância única da classe onde são gravados dados relevantes para a demonstração tanto na forma de *thumbnails* como para a abertura do estudo na Workstation.

Ao definir uma imagem de entrada para a busca, a classe “CbirSearch” é instanciada efetuando a conexão com o banco de dados através da classe “DataBaseConnection” que compara os métodos processados previamente pelo módulo extrator de características e gera uma lista de resultados da classe “CbirList”. Após a busca, a classe “CbirExplorer” exhibe o resultado na forma de *thumbnails* por ordem de semelhança. Nos *thumbnails* é representado apenas a imagem de maior semelhança de cada estudo que pode ser aberto na Workstation através da classe “CbirOpenStudy”.

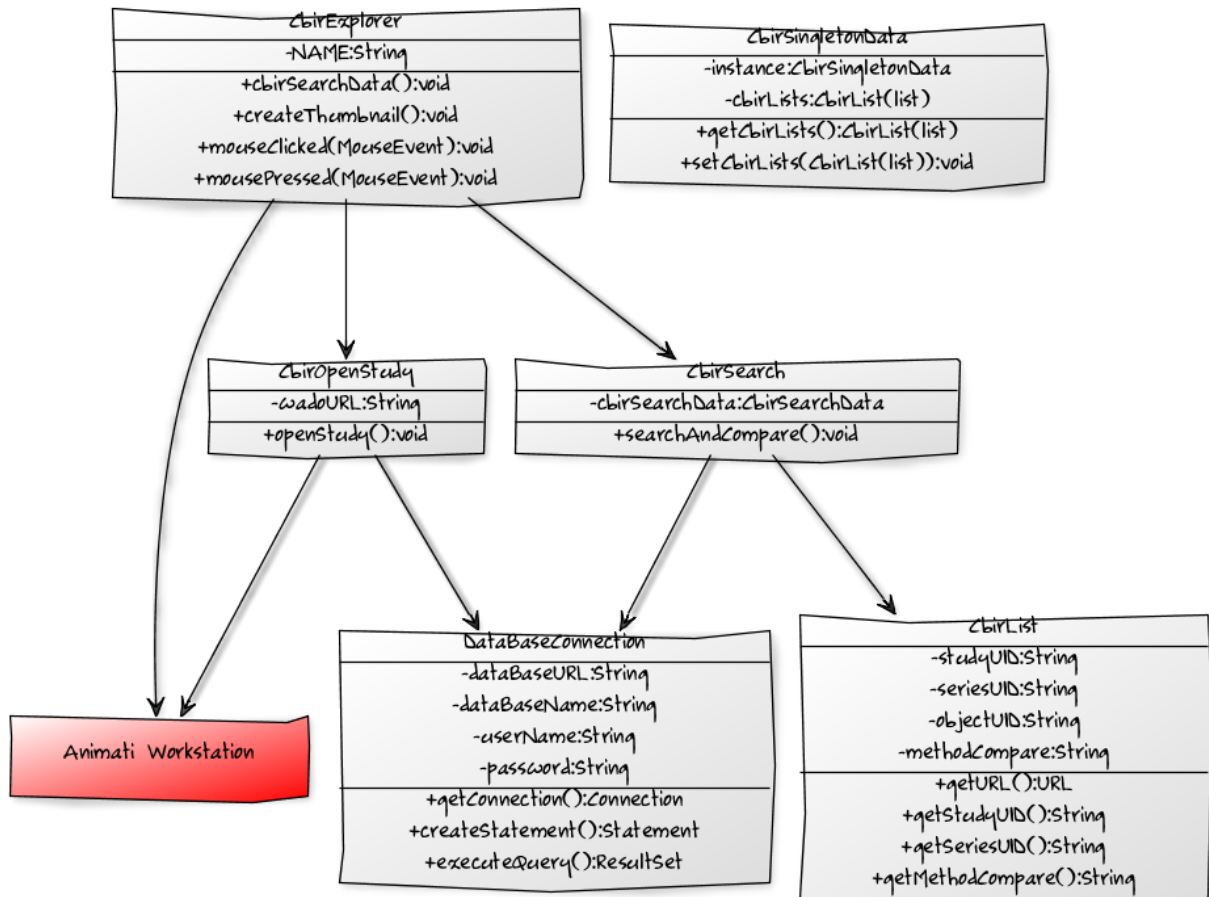


Figura 3.5 – Classes e métodos do *plug-in* de CBIR no Animati Workstation.

3.5 Caso de Uso

Para a validação da arquitetura implementou-se um módulo de extração de características baseado no processamento de imagens no domínio das frequências. Uma imagem digital pode ser convertida do domínio espacial para o domínio de frequências através da transformada de Fourier, ou seja, passa a ser expressa em termos de funções de base sinusoidais. Cada componente que descreve a imagem no domínio da frequência contém valores que representam magnitude e fase. Utilizou-se a biblioteca JAI (SUN MICROSYSTEMS, 1999) - API de processamento de imagens em Java - para realizar a transformada de Fourier sobre as imagens alvo. O resultado da função de processamento da biblioteca é um vetor bidimensional de valores que descrevem a imagem no domínio de frequência. O número de valores corresponde ao número de *pixels* que a imagem possui.

Para o caso de uso da presente implementação utilizaram-se imagens diagnósticas de tomografia pulmonar. Dois motivos contribuíram para essa escolha. O primeiro diz respeito à

quantidade de exames anônimos, fornecidos pelo Instituto Nacional do Câncer (CANCER INSTITUTE, 2012), disponíveis para os testes. Esse tipo de exame é constituído de conjuntos de imagens *multislice* em quantidade significativa, o que permite a realização de testes a uma base de dados de grande volume, aproximando ao encontrado em um ambiente real de produção. Segundo, o diagnóstico de imagens de tomografia pulmonar pode ser beneficiado pela utilização de sistemas de CBIR. Conforme analisou Dy (2003), uma das principais razões para essa afirmação está nos diferentes níveis de experiência dos radiologistas. Assim, tanto profissionais com pouca experiência como médicos que realizam poucos diagnósticos de doenças nesse órgão podem utilizar o recurso para embasar seus laudos. A comparação com casos semelhantes fornece maior segurança ao médico no processo de apresentação dos achados radiológicos.

Dy (2003) avaliou diversos sistemas de CBIR e perceberam que a abordagem comumente utilizada para a representação das imagens é o armazenamento, em banco de dados, de vetores de características que são utilizadas para consulta posterior. A consulta das imagens similares é realizada comparando o vetor fonte da busca com aqueles que estão armazenados no banco de dados. O resultado da busca apresenta, normalmente, as imagens cujos vetores de características possuem menor diferença para o vetor que foi utilizado como fonte da busca.

Liu (2000) apresentou uma implementação de CBIR para recuperação de imagens de tomografia pulmonar, porém utilizou a seleção de ROIs (*Regions of Interest*) nas imagens de que passam por um processamento de extração de textura de região, selecionada pelo usuário, que apresenta anormalidade. A extração de textura é realizada através da seleção dos coeficientes mais significativos de uma *2D Fast Fourier Transform* (FFT). Os primeiros 64 coeficientes de maior variação foram utilizados para formar o vetor de características. A base de dados é previamente alimentada com possíveis classificações para as futuras consultas. Arun e Hema (2009) utilizaram os coeficientes de baixa frequência de uma transformada de Fourier 2D com o objetivo de capturar as características globais de uma imagem diagnóstica.

No presente trabalho, como o objetivo principal é o desenvolvimento da arquitetura que receberá os métodos de extração das características das imagens, a técnica de recuperação de imagens foi implementada de forma simplificada. Assim, inicialmente, buscou-se recuperar imagens correspondentes a *slices* em três posições, a saber, na altura dos ombros, do tórax e do abdômen. Este resultado poderá ser utilizado no desenvolvimento posterior do sistema como primeira etapa de classificação mais grosseira antes do exame das características que descrevem os detalhes mais finos das imagens.

Na Figura 3.6 são mostrados exemplos típicos de *slices* de tomografia de pulmão nas três alturas referidas. As diferenças na forma geral são bastante evidentes. Na altura do ombro, a imagem é mais alongada na horizontal do que na vertical. Na altura do tórax, destacam-se as duas grandes cavidades correspondentes aos pulmões. Finalmente, na altura do abdômen, a imagem é mais arredondada, e sem a presença de grandes cavidades.

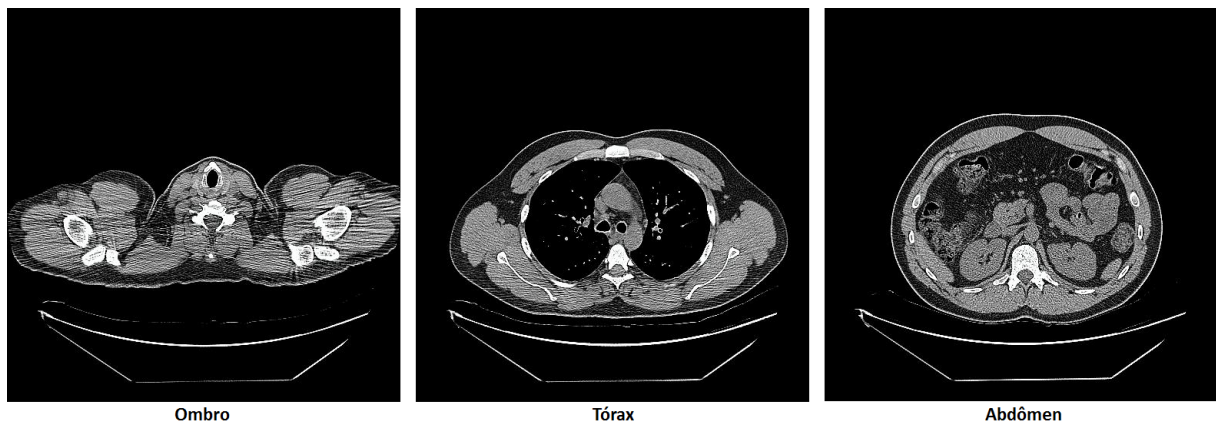


Figura 3.6 – Exemplos típicos de *slices* de tomografia de pulmão nas alturas do ombro, tórax e abdômen.

Ainda que características morfológicas como razão de aspecto e razão entre área das cavidades e área total sejam suficientes para distinguir essas três classes de objetos, a sua extração demanda a segmentação das imagens, que envolveria mais uma etapa de processamento. Assim, mantendo o foco na avaliação da arquitetura proposta, optou-se pela extração de características globais da imagem, que não envolvessem pré-processamento. Partindo do fato de que, na representação de uma imagem no espaço de frequências, a informação sobre sua organização e estrutura em maior escala está contida nos componentes sinusoidais de frequência mais baixa, as magnitudes destas componentes também podem ser usadas para diferenciar essas três classes.

Na Figura 3.7 é apresentado um exemplo de aplicação da transformada de Fourier em um *slice* de um exame de tomografia. No canto superior esquerdo é mostrada a imagem original. À sua direita e abaixo são mostrados os mapas de magnitude e fase. No canto inferior direito é mostrada a imagem reconstruída usando os 16 componentes de frequência mais baixa.

Conforme se pode perceber na Figura 3.7, a imagem reconstruída utilizando os componentes de Fourier de frequência mais baixa tem a forma global da imagem original, sendo, portanto, suficientes para identificar os cortes nas três alturas.

Em vista disso, o método foi implementado e usado para testar a arquitetura proposta.

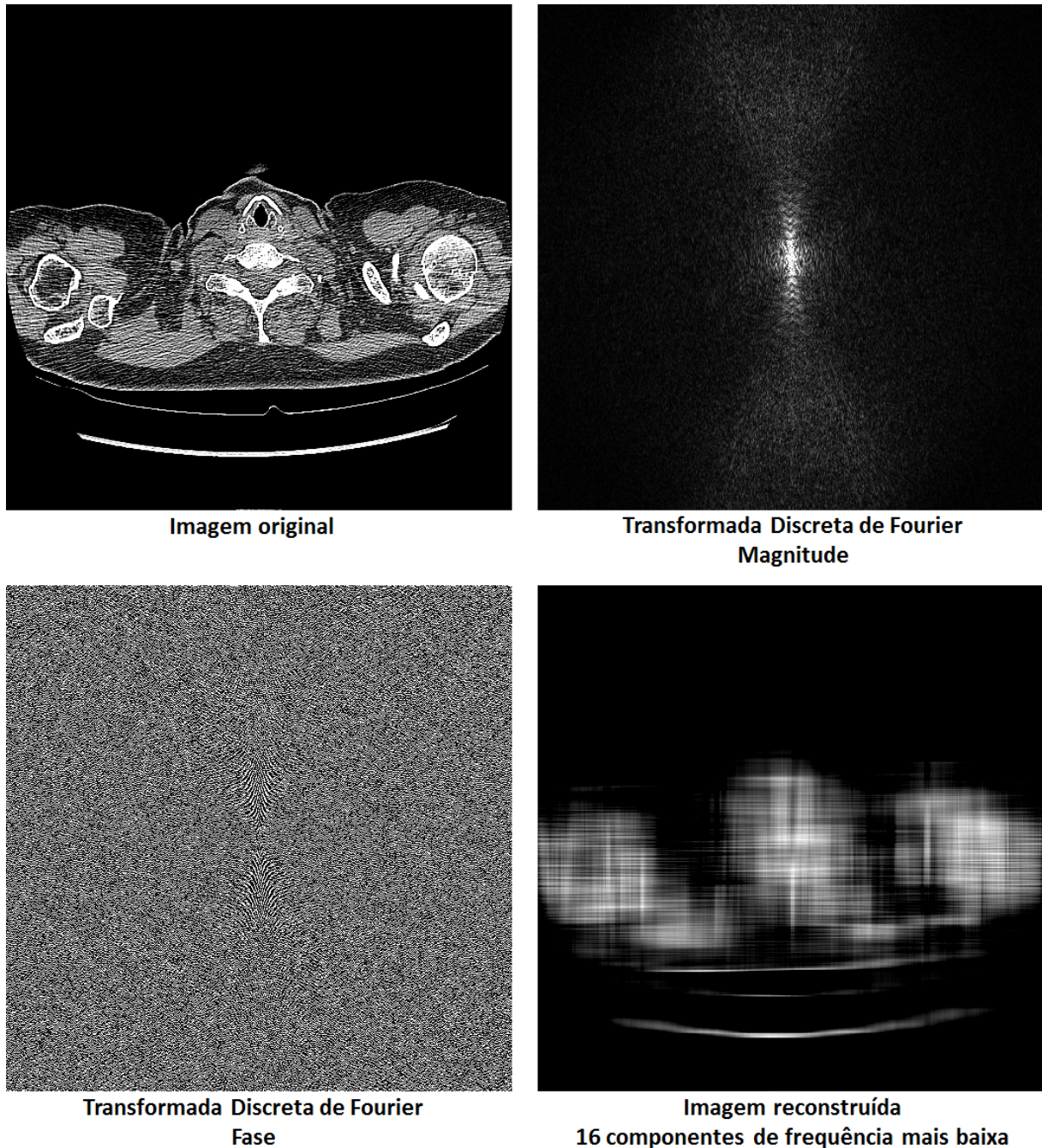


Figura 3.7 – Exemplo da aplicação de uma transformada de Fourier e de reconstrução da imagem por transformada inversa utilizando os componentes de frequência mais baixa.

Para cada *slice* dos exames no banco de dados de imagens aplicou-se uma transformada de Fourier e as respectivas amplitudes dos 16 componentes de frequência mais baixa foram selecionadas como características para a busca e recuperação pelo CBIR.

No método utilizado para CBIR, as imagens diagnósticas foram processadas com toda sua resolução dinâmica, ou seja, as transformadas foram calculadas com todos os *bits* que representavam as tonalidades de cor. Na maior parte das vezes as imagens diagnósticas apresentam

12 *bits* de resolução, com 4094 possíveis tonalidades de cinza. Essa decisão, embora, tenha impacto no desempenho do processamento das imagens, tem por objetivo tornar a arquitetura o mais genérica possível. Assim, métodos de extração de características que se utilizam de toda a resolução das imagens podem ser integrados à plataforma proposta.

A medida de similaridade entre os conjuntos de magnitudes que caracterizam a imagem problema (*query*) e cada imagem no banco de imagens foi a soma dos quadrados das diferenças. Assim, entendendo cada conjunto de magnitudes como um vetor de características, a medida de similaridade é o módulo do vetor diferença, isto é, a distância euclidiana entre os pontos que representam o conjunto de valores de magnitude no espaço de características de 16 dimensões.

3.6 Estendendo a Arquitetura

A arquitetura foi desenvolvida tendo como uma das suas características principais, permitir com que novos métodos para reconhecimento de padrões de imagens diagnósticas sejam aplicados. Essa capacidade é de fundamental importância para os trabalhos que serão desenvolvidos em continuidade ao presente desenvolvimento. Dessa forma, para adicionar novas funções de CBIR basta estender a estrutura base com os novos métodos de extração de características visuais e/ou de medida de similaridade.

Do ponto e vista de codificação, a inclusão de novos métodos é realizada estendendo-se a classe “CbirMethods” apresentada na Seção 3.3 e/ou pela modificação da função “executeMethodsData()” da classe principal “CbirWorker” (Figura 3.8). Também, o banco de dados pode ser atualizado conforme necessidade (ver Seção 3.2).

No que se refere à parte de demonstração no Animati Workstation, deve-se alterar a função “searchAndCompare()” da classe “CbirSearch” descrita na Seção 3.4 de acordo com os novos métodos incluídos no extrator de características, possibilitando a adição de novas funções e classes. Se alguma alteração no banco for efetuada, o tipo da variável de dados “methodCompare” da classe “CbirList” também deverá ser atualizada.

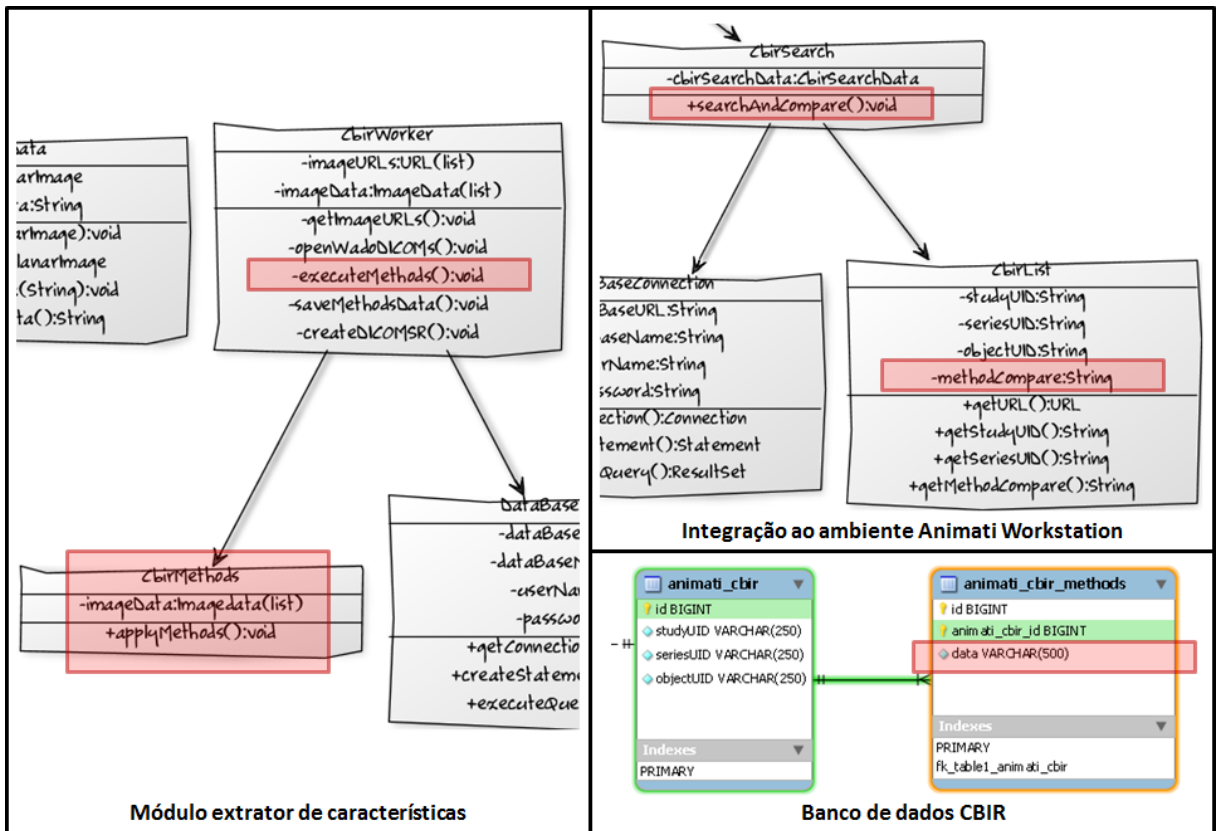


Figura 3.8 – Como estender a arquitetura para adição de novos métodos. Partes marcadas em vermelho referenciam classes, funções e variáveis a serem utilizadas.

4 RESULTADOS

A arquitetura modular para suporte a um sistema de CBIR em um ambiente PACS, proposta no Capítulo 3 foi utilizada para implementar esta funcionalidade no PACS da Animati.

Para verificar o funcionamento do sistema implementado e validar a arquitetura proposta, foram selecionados 64 estudos de tomografia pulmonar de pessoas adultas sem contraste, totalizando 15716 *slices*. Buscou-se, com essa amostra, simular condições de trabalho similares a um ambiente real de produção.

A estrutura de armazenamento CBIR descrita na seção 3.2 e os métodos de extração de características descritos na seção 3.3, implementados a partir do caso de uso da seção 3.5 foram aplicados em um servidor com processador Intel® Core™ 2 Duo CPU E4600 @ 2.40 GHz, 4.00 GB de memória RAM e sistema operacional Ubuntu 10.04 LTS Server 64-bit. Em uma média de 10 estudos, a execução em *background* levou 89,63 segundos para executar todos os procedimentos por exame.

Com o objetivo inicial de recuperar imagens correspondentes a *slices* em três posições, a saber, na altura dos ombros, do tórax e do abdômen, a integração ao ambiente Animati PACS descrito na seção 3.4 e implementado a partir do caso de uso da seção 3.5 foram executados em um computador com processador Intel® Core™ i7-2670QM CPU @ 2.20 GHz, 8.00 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 7 64-bit. Para a busca no banco de dados e exibição dos 10 primeiros *slices* mais semelhantes a imagem *query*, teve o custo de tempo de 1,35 segundos em uma média de 10 pesquisas efetuadas.

Sabe-se que o tempo de resposta do banco de dados não segue uma medida linear de tempo de resposta devido aos algoritmos de otimização de consultas e dos tipos de dados armazenados. Assim, os valores expostos acima apresentam uma ideia inicial em termos de eficiência nos processo de busca em banco de dados. Um próximo esforço de comparação de resultados pode incluir a utilização de base de dados maiores, ou mesmo um ambiente real de produção como uma clínica ou hospital.

Nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 os resultados obtidos são mostrados na interface do CBIR do PACS da Animati.

Esta interface CBIR foi implementada como um *plug-in* no software visualização de imagens Animati Workstation que, de posse de uma imagem objeto, pode consultar, através do sistema CBIR, as imagens mais similares a esta.

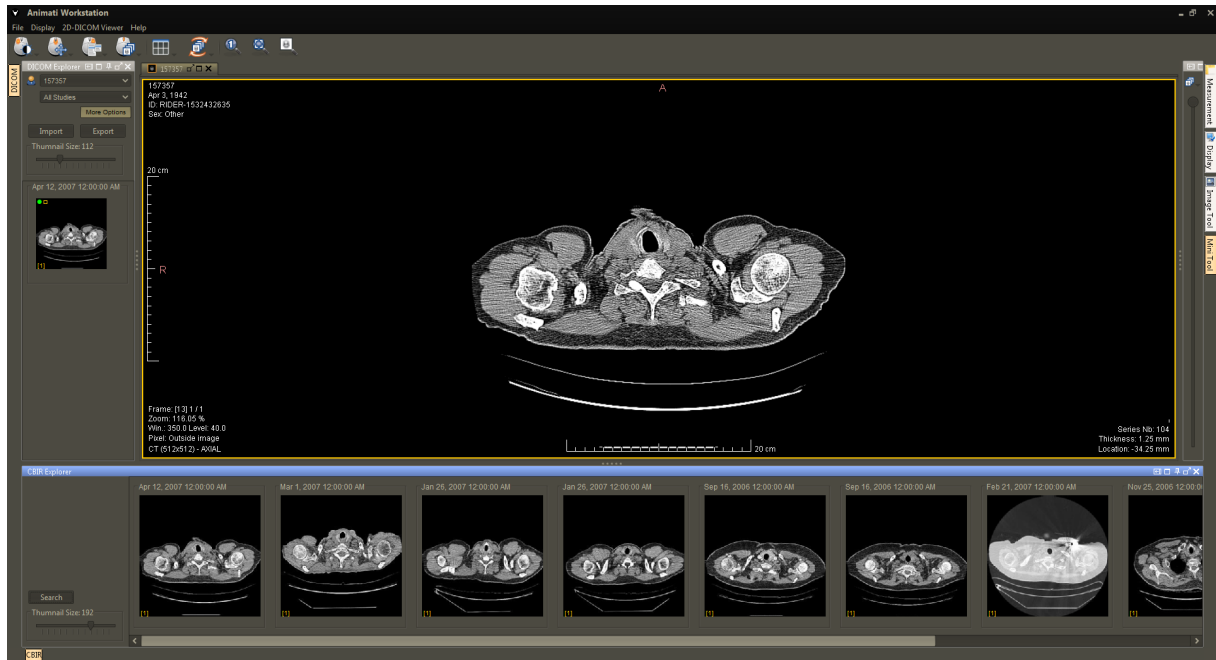


Figura 4.1 – Imagem problema (*query*) de tomografia de pulmão na altura do ombro e o conjunto de *thumbnails* que representam as imagens recuperadas mostradas na interface CBIR do PACS da Animati.

Os resultados mostram que o sistema funciona conforme esperado, isto é, uma consulta é realizada à base de dados e o conjunto de magnitudes das componentes de Fourier da imagem problema é comparado com aqueles do banco de dados, os quais apontam para uma imagem DICOM no ambiente PACS. As imagens catalogadas no banco, cujas magnitudes das componentes de Fourier diferem pouco daquelas da imagem problema são selecionadas e seus *thumbnails* exibidos na interface CBIR do PACS da Animati.

Todas as vezes que uma imagem de tórax foi submetida ao sistema, imagens de tórax foram recuperadas. O mesmo aconteceu com as imagens de ombro e de abdômen.

Embora os cortes de abdômen recuperados exibam diferenças importantes entre si, elas têm muita semelhança no que se refere às características de forma geral.

O sistema criado com base na arquitetura proposta funciona plenamente.

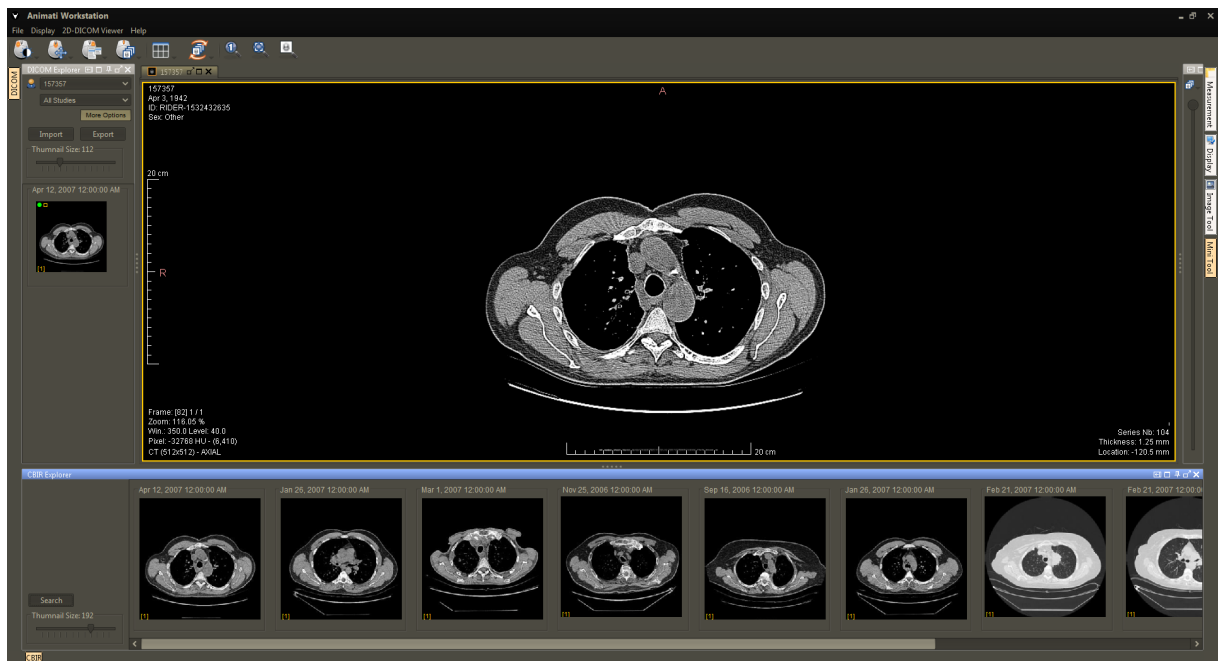


Figura 4.2 – Imagem problema (*query*) de tomografia de pulmão na altura do tórax e o conjunto de *thumbnails* que representam as imagens recuperadas mostradas na interface CBIR do PACS da Animati.

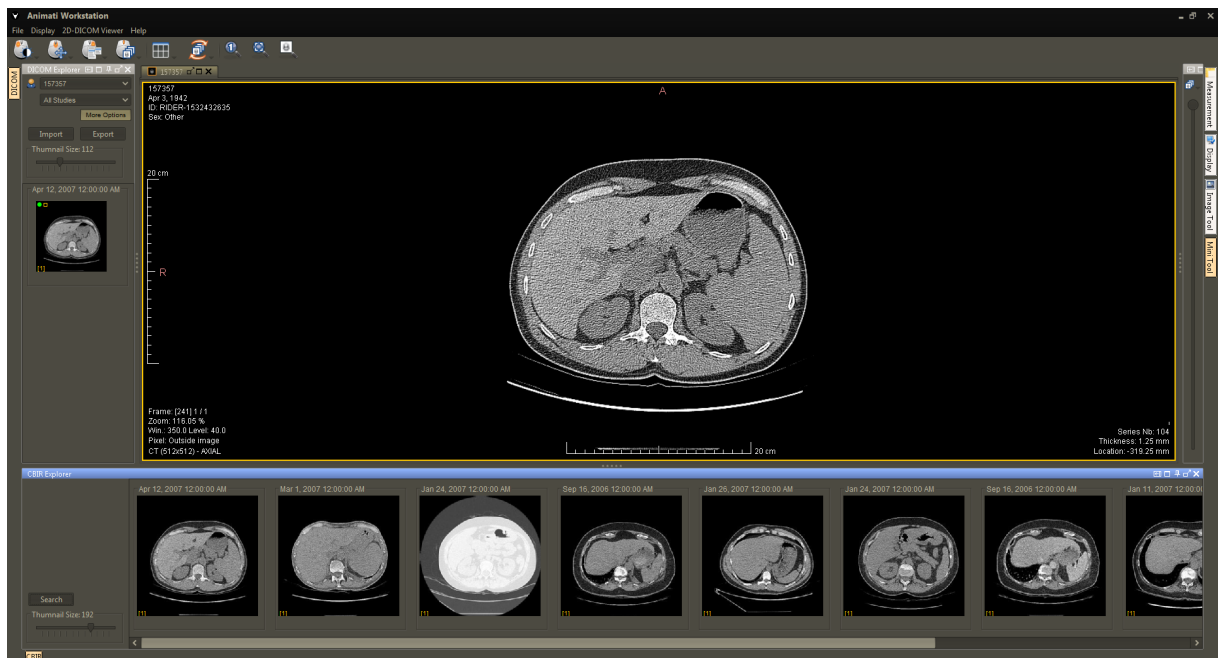


Figura 4.3 – Imagem problema (*query*) de tomografia de pulmão na altura do abdômen e o conjunto de *thumbnails* que representam as imagens recuperadas mostradas na interface CBIR do PACS da Animati.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida uma arquitetura modular para recuperação de imagens diagnósticas baseada em conteúdo que tem por finalidade auxiliar os procedimentos radiológicos em um ambiente PACS. Foi proposta uma abordagem baseada no protocolo DICOM, utilizando o padrão para armazenamento estruturado de resultados associados aos exames, o DICOM SR, para suporte a um sistema de CBIR. O trabalho foi desenvolvido com o apoio da empresa Animati Computação Aplicada que trabalha em parceria com o Laboratório de Computação Aplicada da Universidade Federal de Santa Maria.

A arquitetura proposta foi implementada sobre o sistema de PACS, desenvolvido pela empresa Animati. A estrutura desenvolvida pode ser estendida de forma simplificada através da integração de novos módulos de processamento de imagens específicos para os diferentes tipos de exames por imagens. O sistema permite a implementação de novas técnicas de extração e comparação de características. Utilizou-se o padrão DICOM SR, definido para a documentação de informações diagnósticas em uma rede DICOM/PACS, que tem por objetivo principal garantir interoperabilidade ao sistema.

A validação do trabalho foi feita através da implementação de um caso de uso. Simulando um ambiente de diagnóstico, desenvolveu-se um método de processamento de imagens baseado na transformada de Fourier para extrair características visuais de imagens de tomografia pulmonar. O qual foi inserido como um módulo, podendo ser incluído, excluído e modificado.

Como continuação do trabalho e pesquisa pretende-se implementar novos módulos de extração de características para adicioná-lo a arquitetura e, dessa forma, continuar o desenvolvimento da estrutura com mais testes relacionados. Também, são consideradas a inclusão de busca por região da imagem e dados demográficos (sexo, faixa etária, etnia), e a inclusão de relatório de dose de paciente em casos de exames com contraste. Ainda, no sentido de garantir interoperabilidade a arquitetura, pretende-se desenvolver *templates* específicos para cada tipo de imagem diagnóstica e procedimentos associados.

A utilização de padrões justifica-se pela grande diversidade de fabricantes de equipamentos médicos. Algumas vantagens são observadas na utilização do padrão DICOM SR no desenvolvimento de um sistema de CBIR, como a reutilização de soluções já testadas e aprovadas. O sistema tende a ter uma maior legibilidade e sua extensão e manutenção facilitados. Permite, ainda, a integração e instalação de novos módulos e as vantagens que um sistema

baseado em padrões pode oferecer.

A implementação da arquitetura proposta neste trabalho no PACS da Animati caracteriza-se como uma importante contribuição ao desenvolvimento tanto de um produto comercial como de uma plataforma para testes de metodologias de CBIR voltadas para a recuperação de imagens médicas e de CAD sendo, portanto de interesse acadêmico.

REFERÊNCIAS

- AKGÜL, C. B. et al. Content-Based Image Retrieval in Radiology: current status and future directions. **Journal of Digit Imaging**, [S.l.], v.24, p.208–222, 04 2010.
- ANIMATI. **Empresa Animati Computação Aplicada**. Disponível em: <<http://www.animati.com.br>>. Acesso em: 31 out. 2012.
- ARUN, K. S.; HEMA, P. M. Content Based Medical Image Retrieval by Combining Rotation Invariant Contourlet Features and Fourier Descriptors. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, [S.l.], v.2, p.35–39, 2009.
- BARCELLOS JR, C. L.; WANGENHEIM, A. von; ANDRADE, R. A Reliable Approach for Applying DICOM Structured Reporting in a Large-scale Telemedicine Network. **2011 24th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)**, [S.l.], p.1–6, 2011.
- BLOCKER, J. A **History of Digital Radiography**. **Ezine articles**. 2010. Disponível em: <<http://ezinearticles.com/?A-History-of-Digital-Radiography&id=4600271>>. Acesso em: 31 out. 2012.
- BORTOLUZZI, M. K.; WANGENHEIM, A. von; MAXIMINI, K. A Clinical Report Management System Based Upon the DICOM Structured Report Standard. **Proceedings of the 16th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems - CBMS 2003**, [S.l.], p.183–188, 2003.
- BUENO, J. M. et al. cbPACS: pacs com suporte à recuperação de imagens médicas baseada em conteúdo. **VIII Congresso Brasileiro de Informática em Saúde - CBIS 2002**, [S.l.], 09 2002.
- CANCER INSTITUTE, N. **NBIA - National Biomedical Imaging Archive**. Disponível em: <<https://imaging.nci.nih.gov>>. Acesso em: 31 out. 2012.
- CAO, X.; HUANG, H. K. Current Status and Future Advances of Digital Radiography and PACS. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, [S.l.], v.19, p.80–88, 2000.
- CARESTREAM. **Computed Radigraphy Solutions**. Disponível em: <<http://www.carestream.com>>. Acesso em: 31 out. 2012.

CARITÁ, E. C. et al. Implementação e avaliação de um sistema de gerenciamento de imagens médicas com suporte à recuperação baseada em conteúdo. **Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem**, [S.l.], 10 2008.

CHIMIAK, W. J. The Digital Radiology Environment. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, [S.l.], v.10, p.1133–1144, 1992.

CLUNIE, D. A. **DICOM Structured Reporting**. 1^a.ed. [S.l.]: PixelMed Publishing, 2000.

DY, J. G. et al. Unsupervised Feature Selection Applied to Content-Based Retrieval of Lung Images. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, [S.l.], v.25, p.373–378, 2003.

EVANS, D. **Dcm4che.org Open Source Clinical Image and Object Management**. Disponível em: <<http://www.dcm4che.org>>. Acesso em: 31 out. 2012.

GAMMA, E. et al. **Design Patterns: elements of reusable object-oriented software**. 1^a.ed. [S.l.]: Addison-Wesley, 1995.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4^a.ed. [S.l.]: Editora Atlas, 2002.

HUANG, H. K. **PACS and Imaging Informatics: basic principles and applications**. 2^a.ed. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2010.

HUSSEIN, R. et al. DICOM Structured Reporting Part 1. Overview and Characteristics. **Radiographics**, [S.l.], p.891–896, 2004.

LACA, U. F. S. M. **Laboratório de Computação Aplicada**. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/laca>>. Acesso em: 31 out. 2012.

LIU, C. T. et al. A Content-based Medical Teaching file Assistant For CT Lung Image Retrieval. **The 7th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. ICECS**, [S.l.], v.1, p.361–365, 2000.

MÜLLER, H. et al. A Review of Content-Based Image Retrieval Systems in Medical Applications - Clinical Benefits and Future Directions. **International Journal of Medical Informatics**, [S.l.], v.73, p.1–24, 02 2004.

NEMA. **Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)**. Disponível em: <<http://medical.nema.org>>. Acesso em: 31 out. 2012.

NOBEL. **The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979**. Disponível em: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979>. Acesso em: 31 out. 2012.

OLIVEIRA, M. C.; AZEVEDO-MARQUES, P. M. d.; CIRNE FILHO, W. d. C. Grades Computacionais na Recuperação de Imagens Médicas Baseada em Conteúdo. **Radiologia Brasileira**, [S.l.], v.40, p.255–261, 08 2007.

ORACLE. **Java and MySQL**. Disponível em: <<http://www.oracle.com>>. Acesso em: 31 out. 2012.

PALMA, A. P. et al. Web Based Picture Archiving and Communication System for Medical Images. **2010 Ninth International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business Engineering and Science (DCABES)**, [S.l.], p.141–144, 2010.

PIANYKH, O. S. **Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM): a practical introduction and survival guide**. 1^a.ed. [S.l.]: Springer, 2010.

PORTO, M. A. Implementação de um Módulo de Impressão de Imagens Diagnósticas em um Visualizador Baseado em Web. **Trabalho de Conclusão de Curso - Ciência da Computação / Universidade Federal de Santa Maria**, [S.l.], 2012.

PRESSMAN, R. S. **Software Engineering: a practitioner's approach**. 7^a.ed. [S.l.]: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2009.

RED HAT, I. **Hibernate**. Disponível em: <<http://www.hibernate.org>>. Acesso em: 31 out. 2012.

RIBEIRO, M. X. et al. Combatendo os Pesadelos da Busca Por Conteúdo em Imagens Médicas X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde. **X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde - CBIS 2006**, [S.l.], 10 2006.

RIESMEIER, J. et al. A unified approach for the adequate visualization of structured medical reports. **Medical Imaging 2006: PACS and Imaging Informatics**, [S.l.], v.6145, 02 2006.

RODUIT, N. **Dcm4che.org** - **Weasis**. Disponível em: <<http://www.dcm4che.org/confluence/display/WEA/Home>>. Acesso em: 31 out. 2012.

SALOMÃO, S. C.; AZEVEDO MARQUES, P. M. de. Integrando ferramentas de auxílio ao diagnóstico no sistema de arquivamento e comunicação de imagens. **Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem**, [S.l.], 12 2011.

SILVA, C. Y. V. W. da; TRAINA, A. J. M. Recuperação de Imagens Médicas por Conteúdo Utilizando Wavelets e PCA. **X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde - CBIS 2006**, [S.l.], 10 2006.

SUAPANG, P.; DEJHAN, K.; YIMMUN, S. A Web-based DICOM-Format Image Archive, Medical Image Compression and DICOM Viewer System for Teleradiology Application. **Proceedings of SICE Annual Conference 2010**, [S.l.], p.3005–3011, 08 2010.

SUN MICROSYSTEMS, I. **Programming in Java Advanced Imaging - JAI Guide**. 1999.

VERAS, R. Em busca de uma assistência adequada à saúde do idoso: revisão da literatura e aplicação de um instrumento de detecção precoce e de previsibilidade de agravos. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.l.], v.19, p.705–715, 06 2003.

WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de Pesquisa para Ciência da Computação**. 1^a.ed. [S.l.]: Editora Campus, 2009.

WELTER, P. et al. Exemplary Design of a DICOM Structured Report Template for CBIR Integration into Radiological Routine. **Medical Imaging 2010: Advanced PACS-based Imaging Informatics and Therapeutic Applications**, [S.l.], 02 2010.

WELTER, P. et al. Bridging the integration gap between imaging and information systems: a uniform data concept for content-based image retrieval in computer-aided diagnosis. **Journal of the American Medical Informatics Association**, [S.l.], 07 2011.