UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

*Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos
Departamento de Ciências da Computação e Estatística*

***Uma Abordagem Prática e Eficiente
de Consultas por Similaridade para
Suporte a Diagnóstico por Imagens***

Natália Abdala Rosa

Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

*Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos
Departamento de Ciências da Computação e Estatística*

***Uma Abordagem Prática e Eficiente
de Consultas por Similaridade para
Suporte a Diagnóstico por Imagens***

Natália Abdala Rosa

Profa. Dra. Agma Juci Machado Traina
orientadora

***São Carlos
Agosto 2002***

Dedico essa vitória aos meus queridos pais, Miguel e Natália, a quem tanto amo e admiro. Essa não é uma conquista minha, mas de vocês, por tudo o que fizeram e ainda fazem por mim, pelo carinho e compreensão, pela força e união que vocês transmitem a cada dia, por tudo o que eu sou, obrigado. Amo vocês.

Agradecimentos

Agradeço antes de mais nada a Deus que me deu forças para continuar, nos momentos mais difíceis quando tudo parecia impossível. Ao meu anjo da guarda e guias espirituais por me proteger nessas viagens constantes, muitas vezes com sono e cansada.

Aos meus pais pelo grande apoio, compreensão, por cada preocupação que tinham pelas minhas constantes viagens a São Carlos, por sofrerem comigo nas minhas dificuldades, por torcerem por mim e mais do que tudo, pelo infinito amor, quero compartilhar com vocês minha extrema alegria.

Aos meus queridos irmãos, Reginaldo e Cristiano por estarem sempre por perto me apoiando, torcendo por mim e cujo carinho e amor muito me reergueu e me deu forças. Assim como a Adriana, minha cunhada e amiga, e a minha avó querida, enfim a minha família, que para mim é tudo o que tenho de mais valioso.

Aos meus amados sobrinhos queridos, que só de vê-los era como uma válvula de escape de uma loucura sem fim, representando a beleza, alegria e inocência das crianças. Miguel e Nicole, a tatá conseguiu ! Amo vocês.

Aos amigos que fiz nessa jornada. Aos integrantes do Grupo de Bases de Dados e Imagem, por torcerem sempre pelo sucesso de todos os trabalhos do grupo e se empenharem em ajudar para que todos consigam atingir suas metas. Cada conquista de um integrante do grupo reflete uma conquista do grupo todo. Ao Roberto Figueira e o Fábio, cuja ajuda foi essencial para a conclusão deste trabalho. Assim como o Enzo, o Humberto, o Camilo, a Elisângela, a Ana Paula, a Renata, a Josiane, o Joaquim, à toda a equipe, o meu agradecimento. Fico feliz de, mesmo distante, ter feito parte deste grupo e conhecido vocês.

Ao incentivo contagiante da minha orientadora Agma Juci Machado Traina e seu marido Caetano Traina Jr. Vocês transmitem o gosto pela pesquisa, o incentivo, a vibração a cada nova conquista e a vontade de nos empenhar em fazer o melhor, em dar continuidade ao trabalho de vocês, não parando por aí ! Obrigado por essa alegria contagiante, pela confiança transmitida e principalmente, por acreditarem em mim !

Aos dirigentes da Assessoria Técnica e do Centro de Informações e Análises do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto, por me concederem uma flexibilidade de horário, permitindo-me ausentar no horário de trabalho e repor essas horas nos finais de semana e feriado, tornando possível conciliar meu trabalho com o mestrado.

Ao pessoal do Centro de Informações e Análises pelo carinho, apoio e força, obrigado.

Ao Prof. Dr. Paulo M. de Azevedo Marques por ter me apresentado à minha orientadora e mostrado-me o caminho a seguir, muito obrigado.

Aos meus queridos amigos do Centro de Ciências das Imagens e Física Médica, em especial o Honda, o Edilson, e o Chico que me ajudaram, em todos os momentos, me apoiando, aconselhando, torcendo por mim, obrigado pessoal.

À Eliane, Urso e Santana, pelas noites em claro que passamos estudando, na época das disciplinas.

Ao André, meu namorado, que teve que ter uma paciência e compreensão gigantescas, e cujo apoio foi essencial, estando sempre por perto, sempre me ajudando e apoiando, me amando mesmo sem grandes retornos, sem a leveza de um relacionamento. A você eu dedico a nova fase da minha vida, com a promessa de dias de muita alegria.

A todos que sempre acompanharam minha luta, minhas dificuldades, eu dedico hoje essa conquista e essa vitória. Com fé, esforço e determinação a gente chega lá ! E não chegamos sozinhos, estamos sempre rodeados por amigos, parentes, pessoas que vibram e torcem por nossas conquistas, e sem as quais, jamais conseguiríamos. Ninguém é uma ilha, e a todos que sempre me cercaram e ampararam, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
Lista De Figuras.....	iv
Lista De Tabelas	vii
Resumo	viii
Abstract.....	ix
CAPÍTULO 1 -Introdução.....	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Motivação e Objetivos.....	2
1.3 Organização do Trabalho Apresentado	3
CAPÍTULO 2 - SISTEMAS PACS.....	4
2.1 Introdução	4
2.2 Tecnologia de Aquisição de Imagens	6
2.3 Aquisição de Imagens e Interfaces PACS	8
2.4 Tecnologia de Armazenamento no PACS	9
2.5 Exibição de Imagens	12
2.6 Rede PACS	12
2.7 Serviço de Radiologia Digital (Filmless) em Hospital Universitário.....	13
2.8 Sistema de Informação em Radiologia (RIS) do Hospital das Clínicas - HCFMRP	14
2.9 Conclusão	17
CAPÍTULO 3 - Estruturas de Indexação Para Dados Métricos.....	19
3.1 Conceitos	19
3.2 Definições	20
3.3 Considerações sobre Estruturas Métricas Estáticas e Dinâmicas	21
3.4 Estrutura de Indexação para Dados Métricos Slim-Tree.....	22
3.4.1 Detalhando a Slim-Tree.....	22
3.4.2 Inserção de Objetos na Slim-tree.....	23

3.4.3 Tratamento de Sobreposição.....	25
3.4.4 Reorganização dos Nós da Árvore – Algoritmo Slim-down.....	26
3.4.5 Visualização dos Dados Armazenados na Slim-tree.....	27
3.5 Conclusão	27
CAPÍTULO 4 - Extração de Características de Imagens	28
4.1 Conceitos	28
4.2 Análise de Imagem Baseada em seu Conteúdo	30
4.3 Atributos Visuais e Técnicas de Manipulação.....	31
4.3.1 Cor.....	31
4.3.2 Textura.....	35
4.3.3 Forma.....	36
4.4 Conclusão	37
CAPÍTULO 5 - SRIS-HC.....	38
5.1 Sistema de Recuperação de Imagens Similares – SRIS-HC	38
5.2 Metodologia de Desenvolvimento.....	41
5.2.1 Familiarização com a biblioteca utilizada	41
5.2.2 Análise do Conjunto de Imagens Adotado como Base e Extensão da Biblioteca Utilizada	41
5.2.3 Definição do Modelo de Dados do SRIS-HC.....	43
5.3 Arquitetura do SRIS-HC	45
5.3.1 Módulo de Armazenamento das Imagens e das Características Extraídas..	46
5.3.2 Módulo de Extração e Armazenamento de Características das Imagens Posterior ao Armazenamento.....	49
5.3.3 Módulo de Montagem da Árvore Slim-tree.....	50
5.3.4 Módulo de Consulta de Imagens Similares.....	51
5.3.5 Módulo de Consulta de Exames dos Pacientes e Respectivas Imagens e Laudos Médicos	60
5.3.6 Módulo de Visualização de Logs de Armazenamento	63
5.3.7 Módulo de Abertura e Acesso ao Sistema.....	64
5.4 Resultados.....	65
5.4.1 Caso 1	65

5.4.2 Caso 2	68
5.4.3 Base de Dados.....	71
5.4.4 Validação das Consultas entre Imagem de Referência no Formato DICOM ou no Formato GBDI.....	73
5.5 Conclusões.....	74
CAPÍTULO 6 - Conclusões gerais e linhas de futuras pesquisas.....	75
6.1 Considerações Finais	75
6.2 Trabalhos Futuros	76
6.2.1 Integração de Outras Técnicas de Extração de Características ao SRIS-HC	76
6.2.2 Modificação do SRIS-HC para Utilizar a Versão em Disco da Slim-tree...	76
6.2.3 Disponibilização do SRIS-HC em Ambiente de Produção e Avaliação dos Médicos.....	77
6.2.4 Interface entre as Modalidades e o Sistema de Laudo Eletrônico do HCFMRP	77
6.2.5 Indexação e Recuperação de Imagens Dinâmicas	77
CAPÍTULO 7 - Bibliografia.....	78
Anexo.....	82
1.1 Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados Relacionais	82
1.2 Oracle 8i.....	83
1.2.1 Estrutura física do banco de dados	83
1.2.2 Estrutura lógica do banco de dados.....	84

Lista De Figuras

Figura 1 - Componentes de um PACS	5
Figura 2 - Esquema das funções de um PACS.....	5
Figura 3 - Armazenamento de um PACS combinando arquivamento	11
Figura 4 - Tela principal do Sistema RIS do HCFMRP	14
Figura 5 - Esquema do processo global do RIS ilustrando o fluxo de um exame radiológico	15
Figura 6 - Representação gráfica da Slim-tree.....	22
Figura 7 - Slim-tree armazenando 17 objetos.....	23
Figura 8 - Mecanismos de quebras de nós do algoritmo MST.....	25
Figura 9 - Etapas para o Reconhecimento de Padrões de imagens [Castleman_1996].....	29
Figura 10 - Níveis de abstração para o processo de reconhecimento de objetos em imagens .	30
Figura 11 - Mesmo histograma de cores (dois níveis de cinza).....	32
Figura 12 - Histograma normalizado de uma imagem.....	33
Figura 13 - histograma normalizado e os pontos de controle que definem o seu histograma métrico [Bueno_2002a]	34
Figura 14 - Exemplos de Textura	35
Figura 15 - Integração SRIS-HC com RIS, HIS e mini-PACS do HCFMRP/USP	38
Figura 16 - Processo global do Sistema de Recuperação de Imagens Similares - SRIS-HC...	40
Figura 17 - Exemplo de algumas tags do arquivo DICOM de uma imagem,	42
Figura 18 - Modelo de Dados do SRIS-HC	43
Figura 19 - Arquitetura do SRIS-HC	45
Figura 20 - Esquema de armazenamento na base de dados de imagens e características extraídas.....	48
Figura 21 - Tela do SRIS-HC de armazenamento das imagens no banco de dados	48
Figura 22 - Tela de Extração e Armazenamento Posterior das Características das Imagens ...	49
Figura 23 - Tela de seleção do extrator a utilizar	51
Figura 24 - Tela de montagem da Slim-tree.....	51
Figura 25 - Tela principal do SRIS-HC.....	52
Figura 26 - Esquema de consulta por imagens similares.....	54

Figura 27 – Tela de consulta de imagens similares - consulta K-Nearest Neighbor Query, com $k = 14$	55
Figura 28 - Zoom em 3 miniaturas de imagens resultantes da consulta por similaridade.....	56
Figura 29 - Tela contendo as imagens resultantes da.....	57
Figura 30 - Tela que ilustra a visualização da imagem resultante selecionada em seu tamanho original.....	58
Figura 31 - Visualização do laudo médico da imagem selecionada.....	58
Figura 32 - Tela de consulta de imagens similares por range query, com r (raio) = 0,041	59
Figura 33 - Tela contendo imagens resultantes da consulta por range query com raio = 0,041	59
Figura 34 - Tela de consulta de pacientes	60
Figura 35 - Tela de consulta de exames do paciente e respectivos laudos médicos e imagens	62
Figura 36 - Tela contendo todas as imagens em miniatura do exame selecionado do paciente	62
Figura 37 - Tela de visualização dos logs de armazenamento de imagens e/ou características do SRIS-HC.....	63
Figura 38 - Tela de conexão do usuário com o banco de dados e acesso ao SRIS-HC	64
Figura 39 - Tela de Informações Sobre o SRIS-HC.....	65
Figura 40 - Imagem de referência do caso 1	65
Figura 41 - Caso1_a: resultado da consulta k-nn em uma Slim-tree contendo histogramas tradicionais	66
Figura 42 - Caso1_b: resultado da consulta range query em uma Slim-tree de histogramas tradicionais	66
Figura 43 - Caso1_c: resultado da consulta k-nn em uma Slim-tree contendo histogramas métricos	67
Figura 44 - Caso1_d: resultado da consulta range query em uma Slim-tree de histogramas métricos	67
Figura 45 - Imagem de Referência do Caso 2.....	68
Figura 46 – Caso2_a : resultado da consulta k-NN em uma Slim-tree contendo histogramas tradicionais	69
Figura 47 – Caso2_b: resultado da consulta range query em uma Slim-tree de histogramas tradicionais	69

Figura 48 - Caso2_c: resultado da consulta k-NN em uma Slim-tree contendo histogramas métricos	70
Figura 49 - Caso2_d: resultado da consulta range query em uma Slim-tree de histogramas métricos	70
Figura 50 - Estrutura da tabela IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO	86

Lista De Tabelas

Tabela 1- Taxonomia sobre espaços de características extraídas de imagens [Brown_1992].	30
Tabela 2 - Extratores suportados pelo SRIS-HC.....	44
Tabela 3 - Caso 1 - Consultas Executadas.....	65
Tabela 4 - Caso 2 - Consultas Realizadas	68
Tabela 5 - Analisando a Base de Dados, total de imagens armazenadas, total de exames relacionados, e agrupando pelas diferentes regiões das imagens	71

Resumo

O objetivo desse trabalho é apresentar as características de um Sistema de Apoio ao Diagnóstico em Sistema Hospitalar Suportando Busca por Imagens Similares, a ser desenvolvido e implantado no Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto. A recuperação de imagens baseada no conteúdo é uma área de pesquisa que tem evoluído bastante nos últimos anos. Assim, um sistema de busca e obtenção de imagens, utilizando tal técnica, deve ser extensível aos novos algoritmos de extração de características e métodos de indexação. A extração de características de imagens, tais como informações de cor, textura, forma e o relacionamento entre elas são utilizadas para descrever o conteúdo das imagens. Essas características são então utilizadas para indexar e possibilitar a comparação de imagens no processo de recuperação.

O sistema proposto utilizará um método de indexação de dados recém-desenvolvido – a Slim-tree – para indexar as características extraídas das imagens. Através desse método o Sistema de Apoio ao Diagnóstico possibilitará a consulta por conteúdo em imagens médicas.

Abstract

This work presents the main characteristics of a diagnosis support system based on image similarity search for medical applications. This system was developed to be used in the Clinical Hospital of Ribeirao Preto of the University of Sao Paulo. The content-based image retrieval (CBIR) researching area has evolved greatly in the last years. Thus, a CBIR system should be able to incorporate the new techniques developed, such as, new feature extraction algorithms and indexing methods among others.

Traditionally, the main features extracted from images to get the image essence are color, texture, shape and the relationship among them. Therefore, such features describe the images under analysis, and are used to index and to compare images during the content-based retrieval process.

The proposed system takes advantage of a new metric access method - the Slim-tree, which allows the indexing and the retrieval of the images through their extracted features.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O crescimento da área de computação auxilia o desenvolvimento de muitas outras áreas de pesquisa científica, e a medicina é uma das áreas que mais tem se beneficiado. Os Sistemas de Informações Médicas (SIM) ou Sistemas de Informação Hospitalar (HIS – *Hospital Information System*) armazenam informações a respeito do paciente, seu histórico médico, doenças e procedimentos adotados, permitindo aos médicos o acesso a esses dados de forma imediata.

Com a introdução dos sistemas PACS (*Picture Archiving and Communication Systems*) [Marsh_1997] [Siegel_1999b], esse horizonte tornou-se mais amplo, havendo agora a possibilidade de se armazenar também os exames radiológicos (imagens médicas) do paciente, e consequentemente possibilitando um acesso rápido e direto também às imagens, que já se encontram disponíveis para consulta, logo após a realização dos exames.

Os PACS vêm sendo propostos como a solução do futuro, porém seu custo é extremamente elevado. Além disso, muitas vezes as soluções propostas pelos sistemas PACS não tendem às necessidades dos centros médicos ou são mesmo inadequadas. Dessa forma, o estado da arte é desenvolver soluções locais e muitas vezes restritas, conforme a necessidade do centro hospitalar [Araújo_2002].

Para se chegar a um diagnóstico, os médicos fazem uso das informações textuais do paciente em conjunto, se necessário, com informações radiológicas (abstraídas das imagens médicas obtidas através dos exames). Um sistema completo para auxílio ao diagnóstico por imagem é aquele que engloba tanto Sistemas de Informação Hospitalar (HIS), Sistemas de Informação em Radiologia (RIS - *Radiology Information System*) e sistemas PACS. Porém, um recurso ainda não suportado pelos sistemas PACS atuais é a busca de imagens por conteúdo e similaridades [Traina_2001].

Desde que a recuperação de imagens baseadas no conteúdo é uma área de pesquisa que tem evoluído rapidamente, os sistemas devem ser extensíveis com respeito aos novos métodos de extração de características. Enquanto as características são cruciais para a avaliação da similaridade entre duas imagens, os índices construídos sobre as características das imagens são cruciais para a boa performance de recuperação. A busca por imagens similares é um processo altamente interativo, que requer que os resultados de uma consulta sejam fornecidos rapidamente para serem úteis ao usuário final. Caso contrário, um sistema de recuperação de imagens que não fosse bem otimizado, acabaria não sendo utilizado pelos médicos. O acesso rápido às imagens é bem mais importante do que ser capaz de acessar as imagens de qualquer parte do hospital, através de qualquer computador, porque se os médicos tiverem que esperar muitos minutos para acessar as imagens, eles evitarão utilizar um sistema de disponibilização de imagens [Weber_1999].

1.2 Motivação e Objetivos

O objetivo deste trabalho foi o de pesquisar e implementar uma ferramenta que pudesse atuar como um recurso adicional de um PACS, possibilitando um apoio ao diagnóstico em sistema hospitalar suportando busca por imagens similares. Tal ferramenta deve permitir ao médico pesquisar informações usuais do paciente (nome, data de nascimento), bem como os exames radiológicos com os seus respectivos laudos médicos, as imagens médicas, com base em seus conteúdos, de tal forma que, dado uma imagem, seja possível obter as imagens com características similares à imagem de referência (nesse sistema as características são baseadas em histogramas).

Uma ferramenta de apoio ao diagnóstico com essas características permite uma investigação clínica mais eficiente, com diagnósticos mais precisos e em um tempo bem menor, possibilitando acesso a casos semelhantes com um mínimo esforço despendido que, sem o auxílio de tal ferramenta, poderia se tornar inviável ou demandar uma disposição de tempo dedicado à investigação que muitas vezes o médico não dispõe.

O sistema será validado e testado no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – HCFMRP, com o objetivo de demonstrar a viabilidade de recuperação de imagens baseada em conteúdo, através do uso de um dos mais recentes métodos de acesso métrico – a Slim-tree. Este sistema deverá fornecer aos médicos, de forma rápida e otimizada, todas as informações relevantes ao paciente devido à integração com o RIS do HCFMRP. Além disso, o sucesso da ferramenta atuará como um incentivo a investigações mais profundas de estudos de pacientes, possibilitando assim um diagnóstico mais rápido.

1.3 Organização do Trabalho Apresentado

Esse trabalho foi organizado de forma a abranger todos os conceitos necessários para que se torne possível a realização de tal projeto, abrangendo uma explicação sobre a forma de armazenamento, indexação e consulta das imagens e ferramentas e conceitos a serem utilizados.

No capítulo 2 tem-se uma descrição sobre sistemas PACS e suas arquiteturas, e sobre o Sistema de Informação em Radiologia existente no HCFMRP, sobre o qual vem sendo feito pesquisas para possibilitar o armazenamento de imagens, uma vez que o sistema atualmente conta somente com informações textuais sobre os exames e laudos fornecidos. A ferramenta desenvolvida nesse trabalho irá ser um recurso adicional desse sistema, atuando como uma ferramenta de apoio ao diagnóstico.

O capítulo 3 discorre sobre estruturas métricas de indexação e sobre a estrutura a ser adotada para armazenar as imagens. E uma vez que as informações a serem indexadas não serão a imagem em si, e sim as características extraídas delas, é abordado no capítulo 4 o processo de extração de características de imagens.

No capítulo 5 é fornecido uma descrição detalhada da aplicação desenvolvida e o capítulo 6 apresenta as conclusões gerais da dissertação, bem como as sugestões de futuras pesquisas.

CAPÍTULO 2 - SISTEMAS PACS

2.1 Introdução

Apesar dos avanços na arte e na ciência de radiologia desde o descobrimento do Raio-X por Wilhelm Corad Röntgen em 8 de Novembro de 1895, a aquisição de radiografias convencionais e o tratamento e exibição de imagens tem mudado muito pouco. Uma tecnologia que permitisse a integração das imagens obtidas em exames médicos com dados textuais de pacientes, além da transferência dessas informações de forma rápida e eficiente, era um anseio da comunidade médica.

Os chamados Sistemas de Comunicação e Armazenamento de Imagens (*Picture Archiving and Communication Systems* – PACS), referem-se a sistemas de computador que são usados para capturar, armazenar, distribuir e exibir imagens médicas. São sistemas de arquivamento e comunicação voltados para o diagnóstico por imagem, que permitem o pronto acesso, em qualquer setor do hospital ou clínica, de imagens médicas em formato digital [Siegel_1999b] [Marques_2000a].

O termo PACS tem sido usado para denotar sistemas nos departamentos de radiologia que lidam com imagens radiológicas, embora alguns PACS tenham ido além desses limites, contendo imagens de outras fontes, tais como patologia e endoscopia. O PACS tem se tornado rapidamente a opção tecnológica preferida para as tarefas de transmissão, armazenamento, recuperação, visualização e interpretação de grandes volumes de dados. Porém, a implementação de um PACS implica em um trabalho de reengenharia do serviço de radiologia, devido às modificações inseridas na sequência de eventos necessários desde a aquisição da imagem até sua exibição e interpretação [Marques_2000a].

Um PACS consiste de pelo menos uma ou múltiplas modalidades (dispositivos de aquisição), uma rede de comunicação, um dispositivo de armazenamento intermediário e/ou de longo período, e uma estação de trabalho para visualização e/ou pós-processamento, conforme esquematizado na Figura 1. Um PACS com uma modalidade, um arquivo e uma

estação de trabalho é chamado de mini-PACS ou micro-PACS.

Figura 1 - Componentes de um PACS

Um sistema PACS deve executar as seguintes funções utilizando tecnologia digital [Günther_1999a], conforme o esquema elaborado para ilustrar essas funções na Figura 2:

- aquisição de imagem
- comunicação de imagens (transferência)
- armazenamento de imagens
- exibição de imagens
- processamento de imagens

Figura 2 - Esquema das funções de um PACS

A tecnologia PACS pode ser utilizada para obter operações quase sem filme (*filmless*). Radiologia *filmless* refere-se a um hospital com um ambiente de rede amplo e integrado, no qual o filme foi completamente, ou em grande parte, substituído por sistemas eletrônicos que adquirem, arquivam, disponibilizam e exibem as imagens [Siegel_1999b] [Marques_2000a]. O PACS em conjunto com os Sistemas de Informação em Radiologia (RIS) e de Informação Hospitalar (HIS) formam a base para um serviço de radiologia *filmless* [Siegel_1999c] [Marques_2000a].

A implantação de um serviço de radiologia sem filme deverá trazer melhorias no que se refere à acessibilidade e integração de informações, pela vinculação de imagens ao registro médico eletrônico do paciente, e no que se refere à aplicação de novas técnicas e desenvolvimentos na aquisição, exibição e processamento de imagens. Segundo a literatura especializada, a maioria dos serviços médicos fará a transição para a radiologia *filmless* durante os próximos dez ou vinte anos [Siegel_1999c] [Marques_2000a].

Um alto nível de integração do PACS na operação dos dados é necessário para garantir sua ótima funcionalidade, o que requer uma quantidade tremenda de planejamento e implementação com analistas de sistemas, engenheiros e a administração e também com os outros departamentos clínicos. Isso é muito mais complexo de se obter do que qualquer outro processo de aquisição para o departamento de radiologia e o hospital [Siegel_1999c].

Um PACS é caracterizado por quatro subsistemas: aquisição, exibição, disponibilização e armazenamento de imagens [Marques_2000b], que serão descritos a seguir.

2.2 Tecnologia de Aquisição de Imagens

Embora as modalidades mais recentes, tais como imagens de Ressonância Magnética (MRI), Tomografia Computadorizada (CT), Ultrassom, angiografia digital, fluoroscopia digital e medicina nuclear, obtenham imagens em formato digital, aproximadamente 70% da carga de trabalho do departamento de radiologia continuam sendo na área de radiografia convencional (filmes) [Siegel_1999a]. Radiografia geral, com seu alto volume de detalhes na imagem, representa um desafio especial para PACS, desafio esse encontrado com a introdução de novas modalidades, tais como radiografia computadorizada, radiografia direta e digitalização de filmes [Siegel_1999c].

A maioria dos equipamentos para as modalidades digitais, tais como CT, MRI, ultrassom, medicina nuclear, CR, radiografia direta (DR), angiografia e fluoroscopia digital, é atualmente adquirida com interface padrão que utiliza um protocolo de comunicação e

formato de imagem conhecido como DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). O formato DICOM é o padrão para comunicação de imagens médicas e informações associadas, atualmente utilizado por diversas modalidades de equipamentos de imagens médicas [Caritá_2000]. Esse protocolo preserva a fidelidade original completa (resolução espacial e contraste) gerado pela modalidade durante a transferência para o PACS. Na ausência de uma interface DICOM, as imagens podem ser capturadas para transmissão para o PACS usando placas de captura de vídeo, que podem digitalizar a saída de vídeo de um monitor ou câmera. Desafortunadamente existe uma boa quantidade de variação na qualidade das unidades de captura de vídeo e mesmo os melhores podem introduzir artefatos que degradam a qualidade da imagem. Essas unidades estão limitadas a captura de somente 8 bits (256 níveis de cinza), o que é insuficiente para os 12 bits (4096 níveis de cinza) de modalidades tais como CT e MRI [Siegel_1999b].

Um ambiente sem filme requer um nível muito alto de resolução espacial e contraste, resultando em grandes arquivos de imagens (de 6 a 16 Megabytes). Em um ambiente desses, existem somente três métodos atualmente disponíveis para aquisição de radiografias em geral: Radiografia Computadorizada (CR), Radiografia Direta (DR) e digitalização de filmes [Siegel_1999c].

Radiografia Computadorizada (CR), também conhecida como *Storage Phosphor Radiography* (SP), é atualmente a única solução comercial amplamente disponível para aquisição digital de radiografias convencionais. Nesses sistemas de radiografias computadorizadas, as imagens digitais são diretamente produzidas em uma placa de imagem a base de fósforo (*imaging plate*) podendo, na seqüência, serem visualizadas em monitores ou convertidas para imagem analógica em filme através de uma processadora laser. A maior vantagem da CR é sua ampla faixa dinâmica e seu uso de pós-processamento de imagens por computador, que resulta em potencial no decréscimo das taxas de repetição de imagens, e melhoria da qualidade do diagnóstico das radiografias [Siegel_1999c]. Os sistemas CR são compatíveis com a maioria dos sistemas de raios-X fixos e portáteis, possuindo latitude de exposição bastante larga, o que resulta em imagens com densidade adequada em uma faixa ampla de níveis de exposição, eliminando os problemas de sobre e sub-exposição das imagens [Marques_2000b]. Porém existem algumas desvantagens, tais como o alto custo de implantação e o decréscimo na resolução espacial, que é menor do que a do filme, mas é suficiente para o diagnóstico.

Em Radiografia Direta (DR), um conjunto de detectores é utilizado para capturar a imagem radiográfica diretamente, eliminando a necessidade de processar ou ler o detector (filme em um sistema convencional, placa de fósforo em um sistema CR) em outro local.

Com um sistema DR totalmente integrado com o sistema de informação do hospital, um técnico pode obter uma série de imagens, revisá-las imediatamente e enviá-las para um PACS. Um sistema sem filme tem a capacidade de aumentar a produtividade. A tecnologia DR também tem a capacidade de aumentar a resolução espacial em comparação com sistemas CR atualmente implementados e diminuir os artefatos associados com os danos físicos que podem ocorrer com o tempo com as placas de fósforo armazenadas. Sua maior desvantagem é o alto custo, a alta vulnerabilidade relativa aos danos dos sistemas de detectores, e a carência de portabilidade [Siegel_1999c].

Na ausência de um dispositivo de aquisição digital, o filme pode ser digitalizado usando um dispositivo digitalizador de filmes (semelhante a uma máquina de fax), que varre o filme e então envia a imagem eletrônica resultante para um dispositivo de armazenamento ou PACS. Os filmes convencionais, teoricamente podem ser digitalizados em um alto nível de resolução espacial e contraste usando um digitalizador de filme de alta qualidade. Existem muitos tipos de digitalizadores de filmes, incluindo sistemas com CCD (*charge-coupled devices*) e varredura por feixe de laser. Os digitalizadores de filmes podem ser introduzidos sem grandes alterações na rotina do serviço, possibilitando uma transição suave para um sistema baseado em imagem digital [Siegel_1999c] [Marques_2000b]. Porém na prática, o processo de digitalização pode introduzir artefatos e degradar a qualidade da imagem e, além disso, a qualidade da imagem é limitada à qualidade do filme original [Siegel_1999c]. O processo de digitalização consome tempo devido à necessidade de identificar cada paciente, o estudo executado, data e hora do exame e fornecer essas informações à base de dados do PACS [Siegel_1999c]. A percepção dos radiologistas é que a qualidade da imagem é significativamente limitada para os filmes digitalizados, reduzindo a segurança do diagnóstico. Essas limitações têm resultado na adoção de radiografias computadorizadas preferencialmente à digitalização de filmes [Siegel_1999c].

2.3 Aquisição de Imagens e Interfaces PACS

Ao se planejar um departamento de radiologia sem filme, é importante especificar em detalhes que todas as modalidades terão interfaces digitais com o PACS. Essas interfaces deveriam utilizar o padrão DICOM para comunicação com o PACS, pois o DICOM tem-se firmado como o padrão para imagens médicas. Adicionalmente, os dispositivos de aquisição de imagens deveriam ser adquiridos com a habilidade de permitir a comunicação direta com o sistema de informação hospitalar (HIS) e com o sistema de informação em radiologia (RIS) para facilitar a entrada eletrônica de informações e de estudos do paciente [Siegel_1999c].

Os dispositivos de aquisição de imagens devem ser capazes de enviar imagens ao PACS rapidamente, para minimizar a espera de tempo dos radiologistas e dos médicos, o que requer, por exemplo, que uma imagem de CR seja transmitida em menos que 36 segundos e 60 imagens de CT em menos que 2 minutos [Siegel_1999c].

Uma das mais importantes lições das recentes implementações de PACS tem sido a importância crítica das interfaces funcionando fácil e confiavelmente. Essas interfaces podem ser vistas como uma estrada de comunicação que permite as modalidades, o PACS e os sistemas de informação hospitalar e em radiologia (HIS/RIS) se comunicarem entre si [Siegel_1999c].

Três tipos de interfaces são necessárias para o sucesso da operação de um PACS de larga escala:

- interface das modalidades com o PACS, que permite transferir imagens médicas e informações de pacientes e estudos de pacientes, dos dispositivos de aquisição (tais como CT scanner) para o PACS e transferir potencialmente as imagens do PACS para as modalidades [Siegel_1999c].
- interface dos sistemas HIS/RIS com o PACS, permitindo transferir informações dos pacientes tais como nome, identificação e tipo de estudos para o PACS e do PACS para os sistemas.
- interface do HIS/RIS com as modalidades, permitindo comunicação direta entre um dispositivo de imagens médicas e os sistemas HIS/RIS [Siegel_1999c].

2.4 Tecnologia de Armazenamento no PACS

Uma vez que as imagens são obtidas, elas devem ser armazenadas para pesquisa posterior dos médicos e dos radiologistas. O armazenamento das imagens tem se dividido, tradicionalmente, em curto período (*short-term*), o qual inclui armazenamento (magnético) local, e longo período (*long-term*), o qual envolve meios de armazenamento óticos entre outros [Siegel_1999c] [Marques_2000b], e em alguns casos, em médio período. Existe uma diferença tremenda na velocidade de recuperação entre longo e curto período de armazenamento. Os armazenamentos típicos do PACS têm, a qualquer momento, pelo menos 95% de suas imagens no armazenamento em longo período, que é muito mais lento. É importante por isso utilizar algoritmos inteligentes para maximizar a possibilidade de se ter disponível os estudos e comparações requisitados em um armazenamento em curto período [Siegel_1999c].

O armazenamento local ou magnético, refere-se ao disco rígido (HD) do computador e armazena as informações da imagem digital em um disco magnético para uma recuperação rápida [Marques_2000b]. A maioria dos sistemas possui uma capacidade de armazenamento de curto período na faixa de 20 a 256 gigabytes [Siegel_1999c]. Um período curto de armazenamento deveria permitir a conservação das imagens por um período de pelo menos 2 a 3 semanas e deveria ter a capacidade de armazenar pelo menos de 1 a 3 meses de imagens, porém de modo geral, as imagens são mantidas armazenadas em um meio por volta de uma semana, devido ao grande volume de dados e o alto custo dos sistemas magnéticos de alta capacidade [Marques_2000b]. O tempo de recuperação deveria ser de 2 segundos ou menos para imagens CR e 10 ou menos segundos para 20 imagens de estudos CT, quando recuperando um estudo de um repositório de imagens central (uma arquitetura PACS central) ou de uma estação de trabalho local (arquitetura PACS distribuída). Essas velocidades são necessárias para manter níveis aceitáveis de produtividade de radiologistas e médicos. O armazenamento local é utilizado tanto nas estações de visualização como também nos servidores do sistema [Marques_2000b] [Siegel_1999c].

Um período longo de armazenamento refere-se geralmente a discos óticos WORM (uma escrita, várias leituras). Esses discos possuem variados tamanhos e capacidades, podendo chegar a 10Gb cada e armazenam os dados em um formato de arquivo permanente e não apagável. Outras opções de armazenamento incluem arquivos em fitas magnéticas, em CD-ROMs, em DVD ou em disco ótico-magnético (M/O), que permite armazenar as informações por um período de tempo de um mês ou mais e então apagá-las quando não mais necessárias [Marques_2000b].

O armazenamento por longo prazo deveria ter a capacidade de armazenar pelo menos 5 ou 6 anos de imagens de estudos médicos. Esse período corresponde ao requisito que muitas instituições possuem de retenção de filmes convencionais. O tempo de recuperação de uma imagem de CR de um armazenamento de longo período deveria ser menos que 1 minuto e 30 segundos de imagens de CT deveriam estar disponíveis em 2 minutos. Para agilizar, um método deveria ser usado para transferir os exames antigos de um período longo de armazenamento para um de período curto, quando é provável que eles sejam requisitados, ou seja, após ter sido solicitado um novo exame nos sistemas HIS ou RIS, ou após a admissão do paciente no hospital, por exemplo. Esse processo é conhecido como *“prefetching”* e deveria resultar na obtenção prévia desses exames antigos.

A maioria dos sistemas PACS de grande escala utilizam uma *jukebox* ótica para armazenamento de longo período de imagens. A capacidade de armazenamento tipicamente varia de 20 gigabytes a mais do que 2 terabytes com tempo de recuperação na faixa de 20

segundos a aproximadamente 5 minutos para uma simples imagem de radiografia computadorizada (de 8 megabytes) [Siegel_1999c].

Em [Furuie_1999] os armazenamentos são classificados como :

- *Online*: mídia *online* de até 100 GBytes suportando armazenamento de exames dos últimos 2 meses, considerando-se 5 Gbytes por dia de imagens (2.5 GB com compressão sem perda).
- *Nearline*: (dispositivos automáticos que permitem carregar e descarregar mídia através de um robô, tais como *jukeboxes*, com até 3.4 TBytes). A recuperação *nearline* envolve descarregar automaticamente os arquivos DICOM para a mídia *online*, com um tempo de pesquisa e carga de cerca de 3 minutos. O armazenamento *nearline* permite que as imagens mais recentes dos últimos 3 anos possam ser acessadas automaticamente.
- *Offline*: a recuperação *offline* é baseada em agendamento e carregamento prévio (*prefetching*) dos dados para a mídia *online*. Requer a intervenção do operador para carregar o exame ou a fita solicitada.

O gerenciamento desses armazenamentos é feito através de um sistema gerenciador de base de dados que mantém o controle da localização e movimentação das imagens, e dos estados, ou seja, se estão *online*, *nearline* ou *offline*, além de gerenciar a mudança de estado das imagens, ou seja, enviar imagens de um estado para outro, como por exemplo, do estado *online* para *nearline*, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Armazenamento de um PACS combinando arquivamento *online*, *nearline* e *offline* através de um gerenciador de base de dados

2.5 Exibição de Imagens

O sistema de exibição de imagens, ou a estação de trabalho, é o componente do PACS que tem recebido mais atenção. De fato, para a maioria dos usuários, é o único componente do PACS com que eles irão interagir diretamente.

A estação de trabalho de imagens deve ser capaz de consultar as imagens e recuperá-las rápida e facilmente, e permitir uma navegação rápida e intuitiva na base de dados, para permitir a obtenção e comparação de históricos relevantes ou exames relacionados. Os monitores de exibição devem ter uma resolução de pelo menos 2000 por 1500 pixels para uso no diagnóstico de radiografias gerais e uma área de exibição comparável em tamanho a filmes convencionais de 14” por 17”. O padrão de teleradiologia do *American College of Radiology* (ACR) sugere que as radiografias convencionais sejam visualizadas usando uma resolução de pelo menos 2k pixels [Siegel_1999c]. Uma outra sugestão é o uso de uma configuração de 2 ou 4 monitores. Quanto ao software de exibição e manipulação das imagens, deve ser intuitivo e de fácil uso e aprendizado [Siegel_1999c].

A navegação das imagens, ou a habilidade de recuperar e exibir imagens com a intenção de comparar exames atuais ou parecidos, tem sido relativamente desapontadora na maioria dos sistemas PACS, embora isso tenha melhorado consideravelmente durante os últimos 2 anos [Siegel_1999c]. Atualmente muitos passos são necessários para obter estudos antigos para comparação com os exames atuais, além de que muitos sistemas não suportam facilmente nem habilmente a comparação entre subníveis, tais como seqüências individuais de imagens MRI com imagens de outros exames [Siegel_1999c].

A tendência futura é a existência de um contínuo aumento na velocidade de gráficos e no desempenho global das estações de trabalho utilizadas para a exibição das imagens, permitindo assim uma manipulação mais rápida das imagens, e no uso de computadores pessoais como estações de trabalho [Siegel_1999c].

2.6 Rede PACS

As redes PACS podem ser vistas como uma estrada que tem sido construída para carregar imagens das modalidades de aquisição para os PACS, e dos PACS para as estações de trabalho, sendo a porta de comunicação do HIS/RIS e o arquivo de imagens. As redes podem ser projetadas utilizando-se uma arquitetura central ou distribuída [Siegel_1999c].

Em um PACS com uma arquitetura central, as imagens estão disponíveis utilizando dispositivos compartilhados de armazenamento de um curto período (tipicamente um RAID,

ou um vetor de discos baratos). A vantagem dessa arquitetura é que todas as imagens de um período curto de armazenamento estão disponíveis em todas as estações de trabalho tipicamente com uma taxa de recuperação muito rápida. A desvantagem é a vulnerabilidade dessa configuração [Siegel_1999c].

Uma alternativa é um PACS com uma arquitetura distribuída, na qual as imagens estão armazenadas em múltiplos servidores distribuídos em todo o ambiente hospitalar. A maior desvantagem é a necessidade de enviar as imagens automaticamente ou manualmente para os servidores individuais ou estações de trabalho, para obter uma atuação aceitável [Siegel_1999c].

As redes PACS devem ser capazes de suportar vários usuários simultaneamente, sem uma degradação significativa da rede. Devem também proporcionar um alto nível de segurança para garantir que somente usuários autorizados tenham acesso às informações dos pacientes. Uma das limitações com relação à atuação da rede é a infra-estrutura limitada dos hospitais, que têm sido tradicionalmente projetados para textos e números, e não para imagens [Siegel_1999c].

A implantação de uma rede PACS completa é um projeto bastante caro e complexo, sendo necessário o desenvolvimento de um planejamento bem organizado e inteligente para sua execução, principalmente devido à necessidade do ajuste das estruturas de rede de computadores geralmente inadequadas [Marques_2000a].

2.7 Serviço de Radiologia Digital (Filmless) em Hospital Universitário

O Centro de Ciências das Imagens e Física Médica (CCIFM) da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP/USP) vem trabalhando no sentido de iniciar o processo de transição do Serviço de Radiodiagnóstico do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto para a radiologia *filmless*. Esse processo tem envolvido [Marques_2000a]:

- conexão de equipamentos em rede (tais como Tomografia Computadorizada– CT e Ressonância Magnética Nuclear – RMN);
- armazenamento de imagens em meio eletrônico (CD-ROM) para posterior disponibilização;
- desenvolvimento e implantação de um Sistema de Informação em Radiologia (RIS), sobre o qual será desenvolvido todo o trabalho, e portanto, será descrito com mais detalhes e abrangência.

O departamento de radiologia do Hospital das Clínicas conta atualmente com os seguintes aparelhos DICOM compatíveis: 1 equipamento de Tomografia Computadorizada (CT), 1 de Ressonância Magnética Nuclear (RM) e 2 de ultra-som, conectados em rede, e gerenciados pelo sistema Magic View 300 da Siemens, que permite que um computador do tipo PC (com sistema operacional Windows NT) funcione como um console auxiliar podendo manipular, arquivar e gravar em CD-ROM e disponibilizar imagens através do servidor. Os exames são gravados diariamente em CDs, que ficam guardados para consultas posteriores. Possui também um disk-array Data Force de 50Gbytes, o que possibilita disponibilizar imagens para consultas correspondentes a um período aproximado de 2 meses, porém está em fase de testes, e as imagens têm que ser recuperadas diretamente dos CDs.

Além disso está sendo configurado um servidor RSNA (*Radiological Society of North América*) que será utilizado como o servidor DICOM para os testes do PACS, utilizando a interface de visualização de imagens cujo desenvolvimento está descrito em [Carita_2002].

2.8 Sistema de Informação em Radiologia (RIS) do Hospital das Clínicas - HCFMRP

O RIS do HCFMRP, também denominado Sistema de Laudo Eletrônico (Figura 4), foi desenvolvido e implantado em parceria entre o Centro de Ciências das Imagens e Física Médica (CCIFM) da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP/USP) e o Centro de Informações e Análises do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (HCFMRP), e está em uso desde 1999 [Marques_2000a].

Figura 4 - Tela principal do Sistema RIS do HCFMRP

O sistema foi desenvolvido com a finalidade de otimização no processo de disponibilização e consulta de laudo através da rede *ethernet* do hospital, uma vez que existia

um tempo de espera de três a quatro dias para a disponibilização dos laudos no Serviço de Arquivo Médico (SAM). Esse tempo era necessário, pois os laudos eram emitidos de forma manual em um formulário que acompanhava o pedido de exame, sendo conferidos posteriormente pelo especialista, encaminhados para digitação, impressos, corrigidos, re-impressos, assinados e finalmente encaminhados ao SAM, conforme esquematizado na Figura 5. Existia uma procura bastante alta no Setor de Radiodiagnóstico por laudos ainda não disponíveis no SAM. Com a implantação do RIS esse tempo de espera foi bastante minimizado, uma vez que, assim que os exames são laudados, eles já se encontram disponíveis para consultas “on-line” além de que o mesmo passa a ser impresso diretamente no SAM, utilizando assinatura eletrônica, agilizando assim o processo de distribuição destes junto aos prontuários dos pacientes [Marques_2000a].

Figura 5 - Esquema do processo global do RIS ilustrando o fluxo de um exame radiológico

O núcleo do sistema é o exame, ao qual estão associados um número de identificação e outras informações referentes ao paciente, tipo de exame e região anatômica, sala e aparelho de sua realização, técnica utilizada, quantidade de exposições realizadas, quantidade de filmes utilizados, quantidade de filmes rejeitados e o motivo de rejeição, laudos e médicos responsáveis pelos laudos (residente e supervisor). O programa permite a emissão de relatórios de produtividade e técnicos, facilitando o gerenciamento e controle da qualidade do serviço. O RIS trabalha sobre uma plataforma de banco de dados ORACLE, com interface ao usuário feita em DELPHI, permitindo consulta “on-line” de laudos através de

microcomputadores conectados à rede *ethernet* do Hospital [Marques_2000a].

O processo global do sistema pode ser descrito conforme a Figura 5, e inicia-se com a solicitação de um exame para um paciente junto ao serviço de agendamento do hospital. É gerado então uma etiqueta contendo um código de barras com o número de registro HC do paciente e a clínica solicitante, que o técnico irá utilizar, no momento da realização do exame, para gerar eletronicamente o exame no sistema através da leitura desse código de barras e da inserção manual de informações referentes ao tipo de exame, região anatômica, técnica empregada, sala de realização, reveladora utilizada, tipo e quantidade de filmes expostos, se houve rejeições e o motivo. Após a realização do exame e sua geração eletrônica no sistema, os filmes são encaminhados para uma sala de leitura para serem avaliados e laudados, inicialmente como provisórios pelos médicos residentes, e posteriormente conferidos e corrigidos, se necessário, pelos médicos especialistas e então gravados como definitivos. Os laudos definitivos são impressos diretamente no Serviço de Arquivo Médico (SAM) para serem incluídos no prontuário do paciente. Os laudos gerados podem ser consultados on-line através de qualquer computador disponível no hospital, sem a possibilidade de alteração dos laudos. Essa consulta, feita através do fornecimento do registro do paciente ou nome, exibe uma lista com todos os exames do paciente, suas condições (não laudados, laudados provisórios ou definitivos), bastando então selecionar o exame de interesse para acessar seu laudo. Pode-se também fazer uma busca por patologia, cuja pesquisa será feita pesquisando palavras chaves presentes nas descrições dos laudos de exames realizados dentro de um período estabelecido pelo usuário [Marques_2000a].

De modo geral, pode-se dividir o RIS em quatro módulos principais [Marques_2000a]:

- Módulo de Exames: módulo que permite gerar, alterar, excluir ou mesmo consultar exames realizados
- Módulo de Geração de Laudos: gera laudos provisórios e definitivos para os exames gerados no sistema.
- Módulo de Consultas de Laudos: permite consultas à lista de exames e respectivos laudos dos pacientes (busca por registro ou nome do paciente fornecido) além de consultar por patologias todos os laudos que contenham em sua descrição palavras-chave fornecidas.
- Módulo de Gerenciamento : permite a emissão de relatórios técnicos (consumo de filmes, rejeição de filmes e suas causas, rejeição por reveladora, por sala ou por equipamento, e outros), administrativos (número total de exames realizados,

exames por modalidade, por técnicos, exames laudados por médico, laudos atrasados, e assim por diante).

A segurança do sistema é garantida através do acesso restrito a cada módulo do sistema de acordo com os direitos atribuídos a cada um dos usuários cadastrados. Cada usuário possui direitos específicos, de acordo com sua função dentro do fluxo de atividades do serviço e, para ter acesso ao sistema, o usuário necessita informar seu nome de usuário e sua senha. Toda operação realizada pelo sistema fica armazenada em conjunto com o código do usuário solicitante.

O Sistema de Laudo Eletrônico contém atualmente somente informações textuais, porém em [Caritá_2000][Caritá_2002] foi desenvolvido um projeto piloto para vinculação, recuperação e visualização das imagens dos exames de Ressonância Magnética e Tomografia Computadorizada do HCFMRP/USP. O processo de vinculação das imagens consistiu em extrair as informações dos exames, necessárias para relacionar as imagens com os exames do RIS, contidas nas “tags” dos arquivos DICOM das imagens, e inserí-las automaticamente na base de dados responsável pelo gerenciamento das imagens. Na base de dados as imagens são armazenadas no formato DICOM original.

Uma das grandes contribuições do trabalho de vinculação das imagens com os exames radiológicos do RIS foi a utilização de uma *tag* do DICOM para armazenar a chave do exame do RIS. Com isso, adotou-se um padrão para a realização dos exames e aquisição das imagens: os técnicos entram com as informações do exame no RIS, que irá gerar um número único de identificação do exame. Esse número é então inserido manualmente junto com as demais informações do paciente nas *tags* dos arquivos DICOM das imagens. Sendo assim, as novas imagens adquiridas contêm em seu interior, o número do exame que permite vinculá-las ao RIS.

Foi a partir do RIS e da utilização do novo protocolo para a realização dos exames, além da conscientização dos técnicos e médicos da importância de preencher corretamente as informações do paciente, principalmente a chave do exame (RGHC), que o SRIS-HC foi desenvolvido.

2.9 Conclusão

Os atuais PACS de larga escala estão começando a se beneficiar do tremendo avanço nas tecnologias de rede e computadores. A radiologia sem filme proporciona uma alteração radical no modo como o diagnóstico em radiologia é praticado, o que resultará em uma

completa remodelagem das salas de leitura dos radiologistas e a localização das áreas de leitura dos radiologistas no hospital e em todas as empresas de saúde.

No futuro os PACS se tornarão diretamente integrados com as empresas de tratamento de saúde, resultando na disponibilidade dos registros médicos eletrônicos dos pacientes bem como uma vasta biblioteca de imagens e texto. Haverá acesso instantâneo a qualquer imagem do sistema de saúde a qualquer momento, com uma melhor segurança das imagens e uma qualidade mais alta e mais imagens de diagnósticos, e uma nova geração de ferramentas para os radiologistas. Essas ferramentas irão permitir aos radiologistas melhorar a qualidade das imagens existentes e combinar múltiplas imagens de uma ou mais modalidades em uma única imagem ou estudo para melhorar a exatidão do diagnóstico. Finalmente, um novo conjunto de características de suporte a decisão estarão disponíveis no futuro, que usará informações clínicas do registro eletrônico médico em conjunto com as imagens da base de dados dos radiologistas e irá combiná-las com as informações clínicas e imagens associadas com um novo estudo para ajudar a encontrar ou mesmo sugerir o diagnóstico.

Uma vez que as imagens médicas ainda não estão integradas ao Sistema de Informação em Radiologia – RIS, e nem inter-modalidades, as soluções isoladas adotadas pelo Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto não caracterizam um PACS completo, mas sim um resultado inicial de um projeto de pesquisa que visa a implantação de um serviço de radiologia sem filme junto ao HCFMRP.

CAPÍTULO 3 - ESTRUTURAS DE INDEXAÇÃO PARA DADOS MÉTRICOS

3.1 Conceitos

Ferramentas fundamentais aos sistemas gerenciadores de bases de dados, as estruturas de indexação possibilitam o armazenamento e recuperação de informações de um grande volume de dados de forma eficiente. Inicialmente foram desenvolvidas para operar em dados onde valesse a relação de ordem total (tais como a família de árvores B-Tree) ou que contivessem relativamente poucos dados. Para suportar dados espaciais em espaços de poucas dimensões, surgiram as estruturas chamadas de Métodos de Acesso Espaciais - SAM ("*Spatial Access Methods*"), cujo desenvolvimento iniciou-se com as R-Trees [Guttman_1984], tendo prosseguido com numerosas variações e adaptações, sendo que, para dados em espaços de altas dimensões ou adimensionais, nenhuma dessas estruturas mostrou-se adequada.

Para suportar busca por similaridade foram propostas estruturas métricas, ou os Métodos de Acesso Métricos – MAM, que são estruturas de dados para espaços métricos, ou seja, englobam tanto dados espaciais com dimensão definida quanto dados adimensionais. Busca por similaridade permite considerar quão "similar" dois dados são entre si. A similaridade entre os dados é definida através de uma função distância, ou função de "dissimilaridade" $d(O_i, O_j)$, que retorna zero se ambos os objetos O_i e O_j forem idênticos, e um valor positivo que aumenta quanto maior a distância (ou dissimilaridade) entre os objetos. Dentre as estruturas propostas, podemos citar a "fixed query" trees [Baeza-Yates_1994], a mvp-tree (multi-vantage point tree) [Bozkaya_1997] [Bozkaya_1999], a vp-tree (vantage point tree) [Uhlmann_1991] [Chiueh_1994] [Yianilos_1993], a GNAT [Brin_1995], a M-Tree [Ciaccia_1997b] e recentemente a Slim-Tree [Traina_2000][Traina_2002a].

Por utilizarem apenas medidas de distância entre pares de objetos para organizá-los na base de dados, suportarem naturalmente consultas por proximidade ou similaridade além de se mostrarem eficientes para dados de dimensões altas, as estruturas métricas têm se mostrado promissoras em sistemas de recuperação de dados baseados no conteúdo dos próprios dados [Bozkaya_1999], e bastante apropriadas para indexar imagens, ou mais propriamente, as características (atributos de forma, textura, histograma de cores, resultados de transformações) extraídas das imagens suportando busca por similaridade [Bozkaya_1999][Faloutsos_1996]. Um MAM, com o uso das características extraídas previamente da imagem, constrói a estrutura de índices calculando as distâncias entre elas, procedimento que deveria corresponder à comparação entre as imagens originais. No caso de duas imagens distintas produzirem dois conjuntos de características iguais, um filtro subsequente utilizando outro conjunto de características deverá ser ativado para completar a seleção apropriadamente que, no pior caso, será realizada uma comparação direta entre as imagens, ou seja, pixel a pixel.

3.2 Definições

Espaço Métrico: é um par $M = (D, d)$, onde D é o domínio do vetor de características (chaves de indexação), e $d()$ é uma função distância que satisfaz as seguintes propriedades:

- *Simetria:* $d(O_i, O_j) = d(O_j, O_i)$;
- *Não negatividade:* $0 < d(O_i, O_j) < \infty$, com $i \neq j$ e $d(O_i, O_i) = 0$ para $i = j$;
- *Desigualdade triangular:*

$$d(O_i, O_j) \leq d(O_i, O_k) + d(O_k, O_j),$$

sendo O_i, O_j, O_k pertencentes ao espaço D .

Existem dois tipos básicos de consultas por similaridade: consulta por abrangência (*range query*) e consulta aos vizinhos mais próximos (*k-nearest neighbors query*).

Consulta por Abrangência: Dados um conjunto de objetos $O = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ pertencentes a um domínio D , uma função de distância métrica $d()$, um objeto de consulta $Q \in D$ e uma distância de busca máxima $r(Q)$, a consulta por abrangência $\text{range}(Q, r(Q)) = \{O_i \mid O_i \in D \text{ e } d(O_i, Q) \leq r(Q)\}$, seleciona todos os objetos O_i do conjunto de dados tal que eles estejam dentro da distância $r(Q)$ do objeto de busca. Exemplo: “*Encontre as estrelas que estão até 10 anos-luz de distância do Sol*”. Nesse caso, o objeto de consulta é ‘Sol’, o

domínio D é o conjunto de estrelas do Universo, e o raio de busca (distância máxima) é 10 anos-luz (a distância utilizada é a medida astronômica que mede o espaço em anos-luz).

Consulta aos k Vizinhos mais próximos - k -NN : Dados um conjunto de objetos $O=\{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ de um domínio D , uma função de distância métrica $d()$, um objeto de consulta $Q \in D$ e um número inteiro $K \geq 1$, a consulta K -NN seleciona os K objetos do conjunto de dados que estão mais próximos de Q . Ou seja,

$$K\text{-NN}(Q) = \{ A_i \mid A_i \in A, A_i \in D, |A| = K \text{ e } \forall A_i \in A, O_i \in D - A, d(Q, A_i) \leq d(Q, O_i) \}.$$

Em caso de empate de distâncias na maior distância obtida, pode-se selecionar apenas o número necessário de objetos que satisfazem a regra, ou criar uma lista de empates. Utilizando o exemplo anterior, a consulta ‘*Selecione as 5 estrelas mais próximas do Sol*’ é uma busca **5-NN** para o objeto ‘Sol’ sobre o mesmo domínio de objetos da consulta-exemplo anterior.

3.3 Considerações sobre Estruturas Métricas Estáticas e Dinâmicas

As estruturas métricas estáticas não permitem inserções ou remoções posteriores à construção da árvore. É o caso das primeiras estruturas propostas (vp-tree, mvp-tree, entre outras), que apesar de terem sido desenvolvidas para dar suporte a consultas por similaridades, são estáticas.

A primeira estrutura métrica dinâmica (permite inserções e remoções após a construção da árvore), M-Tree [Ciaccia_1997b], foi desenvolvida utilizando uma técnica de construção de baixo para cima (*bottom-up*), que ao mesmo tempo mantém a árvore balanceada e possibilita ainda novas inserções após a construção da árvore. A M-Tree possui dois tipos diferentes de nós:

- Nós internos, que armazenam o objeto centro deste nó e a distância dele para seu nó pai (essa distância não existe para o nó raiz da árvore), o raio de cobertura da região indexada por essa sub-árvore, e um vetor de ponteiros para suas sub-árvores.
- nós folhas, que armazenam objetos, possuem seus identificadores de objetos (Olds) e o vetor de características que estão sendo utilizadas na indexação do

conjunto de dados.

Após a M-Tree surgiu a Slim-Tree, que é também uma estrutura métrica dinâmica e é a estrutura escolhida para ser usada como base do trabalho proposto, e portanto será descrita com mais detalhes a seguir.

3.4 Estrutura de Indexação para Dados Métricos Slim-Tree

3.4.1 Detalhando a Slim-Tree

Proposta por Traina et. al em [Traina_2000], esta é a mais nova representante de estruturas métricas dinâmicas, sendo também uma estrutura balanceada e permitindo inserções posteriores à criação da árvore. A Slim-tree, comparada com a M-tree nas mesmas condições, sempre a sobrepujou, tanto em termos de número de acessos a disco quanto em termos de número de distâncias calculadas para responder consultas por abrangência (*range queries*) e, portanto, também em tempo total de execução.

Figura 6 - Representação gráfica da Slim-tree

A Slim-tree possui tamanho fixo da página que armazena cada nó, e cada nó pode armazenar um número máximo de objetos C (Capacidade), e é constituída de :

- nós internos (*indexnodes*), cuja estrutura é representada por: **indexno de [vetor de $\langle S_i, R_i, d(S_i, Rep(S_i)), Ptr(TS_i), NEntries(Ptr(TS_i)) \rangle$]**, onde S_i armazena o objeto que é o centro da sub-árvore apontada por $Ptr(TS_i)$, e R_i é o raio de cobertura da região. A distância entre S_i e o objeto representativo deste nó $Rep(S_i)$ é armazenada em $d(S_i, Rep(S_i))$. O ponteiro $Ptr(TS_i)$ indica o nó raiz da sub-árvore cuja raiz é S_i . O número de entradas presentes no nó apontado por $Ptr(TS_i)$ é armazenado em $NEntries(Ptr(TS_i))$. Na Figura 6 é possível visualizar em (a) a estrutura interna da Slim-tree, e em (b) um exemplo de sua construção para um conjunto de 7 palavras, utilizando a distância L_{edit} .
- nós folha (*leafnodes*), com estrutura representada por:

leafnode [vetor de $\langle Old_i, d(S_i, Rep(S_i)), S_i \rangle$], onde Old é identificador do objeto, S_i e $d(S_i, Rep(S_i))$ é a distância entre o objeto S_i e o objeto central (representativo) deste nó folha $Rep(S_i)$.

A Figura 7 fornece uma visão geral da organização de 17 objetos, rotulados de A até Q, armazenados numa Slim-tree de 3 níveis, onde a raiz encontra-se no nível zero e os objetos no nível das folhas (nível 2).

Figura 7 - Slim-tree armazenando 17 objetos

3.4.2 Inserção de Objetos na Slim-tree

A partir do nó raiz, o algoritmo tenta localizar um nó que possa receber o novo objeto. Se nenhum nó se qualifica, seleciona-se o nó cujo centro está mais perto do novo objeto. Caso mais de um nó se qualifique, é executado o algoritmo *ChooseSubtree* para selecionar o nó onde será inserido o novo objeto. Este processo é aplicado recursivamente para todos os níveis da árvore. Existem três opções para o algoritmo *ChooseSubtree*:

- random – seleciona aleatoriamente o nó para inserir o novo objeto entre os que se qualificaram.
- mindist – seleciona o nó cuja distância de seu representativo (centro) para o novo objeto seja a menor.
- minoccup – seleciona o nó que esteja com o menor número de objetos armazenados, dentre os que se qualificaram. O campo *NEntries* presente em todo nó intermediário (*indexnode*) da Slim-tree é utilizado pelo algoritmo *minoccup*, para selecionar o nó com menor valor de *NEntries*. Com o uso da opção *minoccup* do algoritmo *ChooseSubtree*, obtém-se árvores mais compactas (maior taxa de ocupação dos nós), redundando em um número menor de acessos a disco para responder consultas por similaridades.

Durante a inserção de objetos pode acontecer do nó escolhido já estar completo (com taxa de ocupação máxima), sendo necessário alocar um novo nó no mesmo nível do anterior, e os objetos que estavam nesse nó, mais o novo nó a ser inserido, devem ser então redistribuídos entre os dois nós. A Slim-Tree cresce de um nível quando a raiz da árvore está completa e necessita-se inserir um novo elemento, pois a raiz divide-se e uma nova raiz deve ser criada com dois representativos, aumentando-se assim um nível da árvore.

A Slim-tree possui os seguintes algoritmos para efetuar a quebra de nós (*splitting*):

- random – seleciona aleatoriamente os dois objetos representativos para os novos nós, e os demais objetos são distribuídos entre eles pela menor distância entre o objeto e o representativo, devendo-se respeitar a taxa de ocupação mínima dos nós.
- minMax – consideram-se como candidatos representativos, todos os possíveis pares de objetos e, para cada par possível, associa-se os demais objetos a um dos representativos. O par de objetos que minimizar o raio de cobertura da sub-árvore será escolhido como representativo. Esse algoritmo tem complexidade $O(C^3)$, onde C é a capacidade dos nós. Apesar de ser um algoritmo bastante custoso, ele consegue obter árvores que possibilitam consultas mais eficientes[Ciaccia_1998].
- MST – constrói-se a árvore do caminho mínimo (*minimal spanning tree* - *MST*) [Kruskal_1956] e um dos arcos mais longos da MST é removido. Obtém-se assim dois agrupamentos, que serão os objetos associados a cada nó. A complexidade desse algoritmo é $O(C^2 \log C)$, com $O(C^2)$ cálculos de distância. Com o uso desse algoritmo é possível construir Slim-trees praticamente equivalentes às construídas com o uso do algoritmo de quebra de nós minMax, porém em muito menos tempo. A Figura 8 ilustra o mecanismo de quebra de nós utilizando MST:

Figura 8 - Mecanismos de quebras de nós do algoritmo MST

3.4.3 Tratamento de Sobreposição

A sobreposição entre nós ocorre tanto nas estruturas métricas, quanto na maioria dos métodos de acesso espacial como, por exemplo, a família R-tree. Idealmente, os nós de uma árvore para indexação de dados não deveriam se sobrepor, permitindo podar todos os nós que não possuam objetos candidatos a responder consultas por similaridade, porém isso não ocorre e, assim como nos demais MAM, na Slim-tree os nós das regiões também podem ser sobrepostos.

O aumento de sobreposição entre os nós de uma estrutura de índices diminui sua eficiência em responder consultas, pois mais nós da árvore serão consultados (todos os que estão se sobrepondo à região de consulta) prejudicando a poda de sub-árvores. A Slim-tree foi desenvolvida com o objetivo de diminuir a sobreposição entre os nós da árvore, e também oferecer mecanismos para verificação da porcentagem de sobreposição existente na árvore. Até a apresentação da Slim-tree, era considerado impossível medir a sobreposição entre nós em estruturas métricas [Ciaccia_1997a]. Nos métodos de acesso espacial mede-se a intersecção calculando-se o “hiper-volume” da intersecção entre nós sobrepostos (como é feito na R*-tree [Beckmann_1990]). Porém em espaços métricos não há como calcular volume ou áreas, portanto na Slim-tree, ao invés de calcular o ‘volume’ da intersecção entre nós sobrepostos, é computado o número de objetos que encontram-se cobertos por mais de uma região (nó), obtendo-se a sobreposição entre dois nós internos de uma árvore métrica através do número de objetos cobertos por ambas as regiões (sub-árvores) dividido pelo número total de objetos presentes nas duas sub-árvores. Com isso, pode-se ter uma estimativa de quão apropriada ou boa é uma árvore para um conjunto de dados [Faloutsos_1994b]. Tornou-se então possível definir o fator de sobreposição em uma árvore métrica através do *absolute fat-factor* [Traina_2002a], que no melhor caso, quando *fat-factor* é zero, tem-se uma

árvore ideal, sem sobreposições, cuja busca a um objeto já indexado deveria levar a acessar apenas um nó a cada nível da árvore, ou seja, para uma consulta pontual (uma consulta por abrangência com raio zero) em uma árvore ideal com, por exemplo, três níveis, somente três nós deveriam ser acessados. E no pior caso, quando todos os nós tivessem que ser acessados para responder à uma consulta pontual, o *fat-factor* é igual a um.

O *absolute fat-factor* permite medir a quantidade de sobreposição presente em uma dada árvore métrica T . Porém ele não permite a comparação entre árvores diferentes construídas sobre o mesmo conjunto de dados, ou seja, métodos de quebra de nós ou opções do algoritmo de seleção de nós (*ChooseSubTree*) levam muitas vezes a árvores com número de nós M e altura de árvore H diferentes. Para permitir a comparação entre árvores distintas construídas sobre o mesmo conjunto de dados, fez-se necessário uma abordagem diferente, permitindo definir uma nova medida, o *relative fat-factor* que, ao invés de considerar o número de nós e a altura da árvore, considera o número de nós acessados para responder uma consulta pontual sobre todos os objetos da árvore real, sobre a altura e número de nós de uma árvore canônica (que possui o menor número possível de nós, ou seja, tem todos os nós completos, com a possível exceção de um nó em cada nível, e também com altura mínima).

Tanto o *absolute fat-factor* quanto o *relative fat-factor* estão diretamente relacionados com a taxa de sobreposição entre regiões do mesmo nível de uma árvore, sendo que o *absolute fat-factor* indica quão boa uma dada árvore é com respeito a sua quantidade de sobreposição, não se preocupando se os nós estão bem ocupados ou não, o que leva à otimização de espaço em disco se os nós estiverem com alta taxa de ocupação; enquanto que o *relative fat-factor* permite a comparação entre duas árvores para o mesmo conjunto de dados, considerando tanto a quantidade de sobreposição quanto a ocupação eficiente de espaço em disco para armazenar os dados.

3.4.4 Reorganização dos Nós da Árvore – Algoritmo Slim-down

A reorganização permite melhorar uma árvore métrica já construída para um conjunto de dados. Através dos fatores de sobreposição *absolute fat-factor* e *relative fat-factor*, tornou-se possível verificar a quantidade de sobreposição entre nós da árvore e avaliar se tal árvore pode ser melhorada em termos de diminuição do número de acessos a disco para responder às consultas por similaridade. Com isso, se o desejável é que as árvores construídas apresentem o menor valor possível do fator *absolute fat-factor*, ou seja, que o número de objetos nas regiões de sobreposição seja o menor possível, o que um algoritmo de reorganização da árvore deveria fazer em primeiro lugar é diminuir o número de objetos nas intersecções de nós

de mesmo nível; e em segundo lugar diminuir o número de nós da árvore. Foi então proposto em [Traina_2000] o algoritmo *Slim-down*, que atua sobre uma árvore métrica já construída.

3.4.5 Visualização dos Dados Armazenados na Slim-tree

O módulo visualizador é uma ferramenta muito interessante anexada à Slim-tree, que permite ‘ver’ o conjunto de dados indexado, juntamente com a estrutura de nós formada pela hierarquia da árvore, permitindo o tratamento de conjuntos de dados métricos adimensionais (por exemplo um conjunto de palavras) de uma forma mais intuitiva ou prática. O visualizador auxilia tanto na inspeção visual para verificação de como a árvore está, como em ferramentas para mineração de dados (*data mining*) visuais e interativas.

3.5 Conclusão

Como vimos, as inovações da estrutura Slim-tree sobre as estruturas métricas tradicionais são: o *fat-factor*, que possibilita indicar se a estrutura de índices construída sobre um determinado conjunto de dados é eficiente ou não; o algoritmo *Slim-down*, que efetua a reorganização dos dados organizados por ela, de forma a minimizar a taxa de acesso a disco quando efetuando consultas por similaridade; possibilidade de visualizar a organização da informação armazenada, permitindo ao usuário perceber onde estão os aglomerados e elementos de exceção pertencentes ao conjunto de dados, além do inter-relacionamento entre os elementos de dados e possibilita também o acompanhamento visual das consultas efetuadas sobre a base de imagens.

A Slim-tree tem-se apresentado como a mais eficiente estrutura métrica atual, porém não foram ainda efetuados testes utilizando-a na indexação de grandes conjuntos de imagens, o que será realizado por membros do grupo de pesquisa do LaBdI com o banco de imagens médicas obtidas dos equipamentos de exames de imagens do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto.

CAPÍTULO 4 - EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE IMAGENS

4.1 Conceitos

O processo de extração de características de imagens permite sintetizar propriedades inerentes da imagem, que serão utilizadas no processo de indexação e recuperação do conjunto de imagens. Uma imagem é descrita por um conjunto de muitas características, tais como forma, textura, distribuição de cores e relacionamento espacial entre os objetos presentes na mesma. É através dessas características que as estruturas métricas indexam as imagens. Esse processo de extração de características é crucial para a armazenagem e recuperação eficiente das imagens, baseada em seu conteúdo.

Um dos passos para se efetuar o reconhecimento de padrões existentes em imagens é através do processo de extração de suas características. O reconhecimento de padrões assume que a imagem pode conter um ou mais objetos e que cada objeto pertence a um tipo (de um conjunto previamente definido de muitos tipos) e a uma ou mais categorias ou classes de padrões pré-determinados. Dada uma imagem contendo vários objetos, o processo de reconhecimento de padrões consiste de 3 fases, segundo Castelman [Castelman_1996] e conforme é ilustrado na Figura 9:

- Segmentação de imagem: onde cada objeto contido na imagem é localizado e isolado do resto da cena.
- Extração de Características: é o cálculo de valores que descrevem alguma propriedade quantitativa ou qualitativa dos objetos. Uma característica é uma função de uma ou mais medidas, calculadas de forma que quantifique alguma propriedade do objeto. Este processo produz um conjunto de n características, que formam o vetor de características de uma imagem, podendo-se assim pensar em um espaço n -dimensional no qual todos os n -elementos deste vetor possam ser

localizados. Assim, qualquer objeto corresponde a um ponto deste espaço, denominado espaço de características. Existem dois modos de representar uma região:

- ✍ Baseando-se nas características externas da imagem (ou seja, suas fronteiras), para quando o foco principal for as características morfológicas ou formas que estão presentes na imagem.
- ✍ Baseando-se nas características internas da imagem (os pixels contidos na região), para quando há interesse em propriedades refletivas, tais como cor e textura.

Em ambas formas de representar uma região é importante que as características selecionadas como descritoras sejam tão insensíveis quanto possível à variações de tamanho, translação e rotação.

- Classificação da imagem: o resultado desta etapa baseia-se na decisão a respeito da classe à qual pertence cada objeto da imagem. O tipo de cada objeto é reconhecido, e o reconhecimento é implementado como um processo de classificação e cada objeto é associado a um dos diversos grupos pré-estabelecidos que representam todos os possíveis tipos de objetos que se espera existir na imagem.

Figura 9 - Etapas para o Reconhecimento de Padrões de imagens [Castleman_1996]

Brown apresentou em 1992 uma taxonomia sobre quais são os atributos ou características mais utilizadas no processo de extração de características, e agrupa-os em cinco espaços de características, segundo a Tabela 1- Taxonomia sobre espaços de características extraídas de imagens [Brown_1992]:

Tabela 1- Taxonomia sobre espaços de características extraídas de imagens [Brown_1992]

Espaço de Características			Atributos
Intensidade	Bruta	(Raw Intensity)	Baseia-se nas intensidades dos pixels.
Bordas			Estrutura intrínseca, menos sensível a ruídos. Incluem contornos e superfícies.
Características Salientes			Estrutura intrínseca, posicionamento preciso. Incluem intersecção de linhas, cantos, pontos de alta curvatura.
Características Estatísticas			Usa toda informação presente na imagem, bons resultados para transformações rígidas, suporte a suposições. Incluem momentos invariantes, eixos principais, técnicas como <i>singular value decomposition</i> e centróides.
Características de Alto Nível			Utilizam relações e informações de alto nível, bons resultados para <i>matching</i> local e impreciso. Incluem características estruturais (grafos de configurações de sub-padrões) e sintáticas (gramáticas compostas a partir de padrões) e redes semânticas (regiões de cena e suas relações). Podem criar técnicas de assinatura para indexar imagens.

No caso de sistemas de recuperação de imagens baseada em conteúdo, os atributos mais efetivos são os que usam características de bordas e características de alto nível, como grafos, e distribuição de padrões. As características estatísticas (histograma de intensidades, média, desvio-padrão, entre outras), são mais adequadas nos primeiros passos de seleção ou eliminação de candidatos, por representarem um comportamento mais global da imagem, e as baseadas nas intensidades dos pixels em si, só servem para quando se deseja buscar imagens exatamente iguais, o que não é o caso em consultas por similaridade.

4.2 Análise de Imagem Baseada em seu Conteúdo

Esse processo de análise pode ser modelado como uma hierarquia de abstrações[Aslandogan_1999], estando no primeiro nível os pixels da imagem, com a informação sobre cores ou brilho associada ao elemento. No segundo nível trabalha-se sobre atributos (bordas, cantos, linhas curvas e regiões de cores). O terceiro nível da abstração procura combinar e interpretar os atributos do nível anterior, colocando-os sobre objetos que possuam tais características e, no quarto nível, busca-se compreender o relacionamento entre os objetos presentes na imagem. A Figura 10 sintetiza os níveis de abstrações descritos.

Figura 10 - Níveis de abstração para o processo de reconhecimento de objetos em imagens

A detecção e reconhecimento de certas classes de objetos e atributos (tipicamente geométrico) pode ser feita de duas formas: automática, porém sua eficácia depende muito da complexidade da imagem, e semi-automática, para quando muitos objetos, valores de atributos e conceitos de alto nível, tais como o relacionamento entre os objetos, não puderem ser obtidos de forma automática. No método semi-automático existe a interação direta do usuário com a imagem, ou através de dicionários ou anotações.

4.3 Atributos Visuais e Técnicas de Manipulação

As principais características utilizadas para comparar imagens são: cor, forma e textura, assim como o relacionamento espacial entre os objetos das imagens. Os algoritmos para extrair formas e texturas são muito dispendiosos e dependem do domínio da aplicação, portanto é melhor deixá-los para o último passo na separação de imagens, quando o conjunto resposta candidato já foi reduzido através do uso de outras características. A importância de histogramas de cor ou brilho é devido à simplicidade de obtê-los e compará-los, pois as operações são executadas em tempo linear [Traina_2002b][Bueno_2002a].

A seguir serão descritos os principais atributos visuais (cor, textura e forma) e as técnicas para manipulá-los.

4.3.1 Cor

As cores presentes em uma imagem possuem um papel bastante significativo na indexação e recuperação da mesma. Em análise automatizada de imagens, a cor é um descritor poderoso que frequentemente simplifica a identificação do objeto e a extração de uma cena. Existem diferentes representações de cores que incluem desde o tradicional RGB (*red, green, blue*), o modelo mais simples, que mapeia diretamente as características físicas do dispositivo de exibição, até o HSI (*hue, saturation, intensity*), que reflete mais precisamente o modelo de cores para a percepção humana. Um modelo de cor é, essencialmente, uma especificação de um sistema de coordenadas tridimensionais e um subespaço dentro desse sistema onde cada cor é representada por um único ponto. O propósito de um modelo de cores é facilitar a especificação das cores em alguma forma padrão e de aceitação geral. As cores exibidas são criadas por combinações de quantidades apropriadas de vermelho, verde e azul. Um pixel de 24 bits em padrão RGB representa aproximadamente 16.7 milhões de cores diferentes e, muitas vezes, para aumentar-se a eficiência no processamento da imagem, suas cores são re-quantizadas de forma a diminuir o número de cores possível e facilitar o

tratamento das mesmas através de seu histograma. O histograma de cores calcula e apresenta o número de pixels de uma imagem para cada cor.

Pode-se comparar dois histogramas de cores através do somatório de diferenças absolutas ou quadráticas sobre o número de pixels de cada cor, sendo um esquema bem simples e tolerante a pequenas alterações na imagem. Portanto, é natural que os histogramas de cores venham sendo estudados e implementados em sistemas de recuperação de imagens baseado em conteúdo, tanto acadêmicos, quanto comerciais. Essa popularidade do uso de histogramas de cores em sistemas de recuperação de imagens baseada em conteúdo deve-se principalmente a três fatores [Pass_1996]:

- O cálculo de histogramas de cores é computacionalmente simples e barato.
- Pequenas alterações de movimentação na imagem pouco afetam os histogramas.
- Objetos distintos freqüentemente possuem histogramas diferentes.

Existem alguns problemas a serem considerados no uso de histogramas:

- Seu caráter ambíguo: apenas o uso do histograma de cores das imagens não é suficiente para separar ou reconhecer imagens, pois duas ou mais imagens bem diferentes podem ter histogramas semelhantes, ou seja, não há uma correspondência biunívoca entre a imagem e seu histograma de cores, o que leva ao problema de ambigüidade, e à necessidade do uso conjunto de outros métodos. A Figura 11 ilustra tal situação, onde as quatro imagens (a), (b), (c) e (d) possuem o mesmo histograma associado, o qual é apresentado em (e).

Figura 11 - Mesmo histograma de cores (dois níveis de cinza) associado a quatro imagens distintas

- Número grande de cores: geralmente o número de cores tem mais de 100 níveis, tornando-se problemático indexar vetores dessa dimensão, pois o histograma para 100 cores distintas pode ser visto como um ponto 100-dimensional, e para valores dessa ordem, a maior parte das estruturas de índices espaciais colapsa, ou seja, ocorre a famosa “maldição da alta dimensionalidade” [Hinneburg_1999a] [Pagel_2000], onde o melhor método de acesso acaba sendo a busca sequencial.

4.3.1.1 Histograma Normalizado

O histograma de uma imagem fornece a frequência de cada valor de brilho z na imagem. O histograma de uma imagem com t níveis de brilho é representado por um vetor com t elementos, chamados *bins*. Um histograma normalizado é composto por um número de *bins* que depende da resolução de quantização da imagem, sendo portanto, um número fixo. O histograma normalizado também é representado por um vetor com t elementos, porém a diferença é que os valores dos *bins* estão em porcentagens [Traina_2002b] [Bueno_2002a].

Os histogramas normalizados são invariantes às transformações geométricas. Os histogramas normalizados permitem comparações de imagens de qualquer tamanho, portanto transformações geométricas executadas nas imagens fontes irão fornecer o mesmo histograma. Obter o histograma normalizado das imagens não é uma operação dispendiosa [Traina_2002b] [Bueno_2002a]. A Figura 12 ilustra o histograma normalizado de uma imagem obtida por ressonância magnética, tendo-se no eixo x os níveis de cinza e em y a frequência de níveis de cinza em porcentagem. A imagem tem uma resolução espacial de 512x512 pixels exibidos em 256 níveis de luminosidade, e portanto seu histograma contém 256 *bins*. A indexação de histogramas como este requer a indexação de vetores com 256 elementos ou, em termos de estruturas de indexação, 256 dimensões [Bueno_2002a].

Figura 12 - Histograma normalizado de uma imagem

4.3.1.2 Histograma Métrico

Em um histograma métrico, os *bins* são chamados de *buckets*, e cada *bucket* corresponde a uma linha na aproximação do histograma normalizado. O número de *buckets* em um histograma métrico depende do erro aceitável no processo de aproximação na própria imagem, e é muito menor do que o número de *bins* em histogramas normalizados, caindo de 256 *bins* para 20 a 32 *buckets* em um histograma métrico [Traina_2002b] [Bueno_2002a].

Histogramas métricos são uma aproximação de histogramas normalizados. Assumindo-se que os níveis de brilho são similares aos seus níveis próximos, pode-se representar uma aproximação de um histograma normalizado através de um conjunto de segmentos de retas, mantendo-se assim a forma do histograma. Histogramas de diferentes imagens podem ser aproximados utilizando diferentes números de retas, tal que a aproximação possa ser otimizada para descrever cada histograma. Ainda, as aproximações estão definidas em um domínio métrico que não possui um número de dimensões definido, uma vez que cada aproximação necessita de diferentes números de retas [Traina_2002b] [Bueno_2002a]. A Figura 13 ilustra um histograma normalizado de uma imagem e os pontos de controle que definem o seu histograma métrico. As linhas em vermelho são os segmentos de retas que correspondem a uma linha na aproximação do histograma normalizado.

Figura 13 - histograma normalizado e os pontos de controle que definem o seu histograma métrico [Bueno_2002a]

É importante recordar que os histogramas métricos são obtidos dos histogramas normalizados mantendo, portanto as seguintes propriedades:

- uma imagem original e a mesma imagem tendo sofrido transformações de escala, translação ou rotação, irá possuir o mesmo histograma métrico.
- Os histogramas métricos são curvas no espaço e podem ser ajustados em seu início e fim. Portanto os histogramas métricos são também invariantes a transformações de brilho na imagem.

Essas duas propriedades destacam que, utilizando-se histogramas métricos, algumas restrições em se utilizar histogramas para recuperação de imagens são superadas. Ou seja, ele se torna invariante às transformações geométricas (incluindo escala) e de brilho.

Quando são feitas consultas em um banco de dados e imagem para recuperar informações baseadas no conteúdo da imagem, um processo de filtro é executado para tentar reduzir o número de imagens a serem comparadas. Essa operação de filtro utiliza as características extraídas das imagens através de algoritmos relativamente baratos. Uma das características mais freqüentemente utilizadas nos estágios iniciais de filtragem é baseada nos histogramas das imagens [Traina_2002b]. O histograma métrico é uma nova técnica proposta para definir uma maneira mais rápida de executar o processo de filtragem baseado em histogramas em uma base de dados e imagem [Traina_2002b] [Bueno_2002a].

O histograma métrico e o histograma tradicional serão adotados no desenvolvimento da aplicação descrita neste trabalho, para a recuperação de imagens baseada em conteúdo.

4.3.2 Textura

Textura é um padrão visual com grande número de elementos gráficos arranjados de forma equânime com densidades variadas. Um elemento de textura é uma região de intensidade uniforme de formas simples que se repete dentro de um intervalo.

Figura 14 - Exemplos de Textura

Na Figura 14 podemos visualizar alguns exemplos de texturas [Valkealahti_1998]. Existem três formas de se analisar uma textura:

- Análise estatística: análise realizada ao nível de um intervalo ou janela. Utilizada para texturas pequenas e não muito regulares. As médias estatísticas buscam

caracterizar a variação de intensidade em uma janela de textura, e como exemplo, podemos citar contraste (alto contraste: tipo textura de pele de zebra, versus baixo contraste como a textura da pele de um elefante); granularidade (tamanho dos elementos do padrão) e direcionalidade (estampa de padrão xadrez em um tecido versus um padrão liso). Através do uso do espectro de Fourier – uma ferramenta para manipulação de padrões estatísticos – e da transformada de Fourier realizada sobre uma janela de textura gera-se uma assinatura, podendo-se então agrupar janelas que possuam assinaturas próximas ou bastante similares.

- Análise estrutural: análise realizada ao nível do elemento da textura. Utilizada sempre que os elementos da textura possam ser claramente identificados, a análise estrutural obtém os elementos de textura presentes na imagem, determinando seus formatos e estimando as regras de posicionamento. Essas regras descrevem como os elementos de textura são colocados com relação aos demais, além de estabelecer o relacionamento de vizinhança (conectividade), o número de elementos por unidade espacial (densidade) e sua regularidade (homogeneidade). As técnicas estruturais tratam de arranjos de primitivas de imagem, como a descrição da textura baseada em linhas paralelas regularmente espaçadas.
- Análise Espectral: baseia-se em propriedades do espectro de Fourier, sendo usadas basicamente na detecção de periodicidade global em uma imagem através da identificação de pixels de alta energia no espectro [Gonzalez_1993].

A diferença entre o tratamento de textura e o realizado sobre cores se deve ao fato que as texturas são definidas sobre janelas ou regiões da imagem e não sobre pixels como as cores. A segmentação de uma imagem utilizando textura determina quais regiões da imagem possuem textura uniforme, podendo assim construir uma estrutura de indexação tipo R-tree com os retângulos que envolvem essas regiões (*bounding boxes*). Assim como o histograma de cores, também existe o problema de ambigüidade e o da dimensionalidade para a indexação de dados de textura (informações em espaços de alta dimensionalidade), propiciando a “maldição da alta dimensionalidade”.

4.3.3 Forma

A recuperação de imagens baseada em forma é um dos problemas mais difíceis de serem tratados pelos sistemas de recuperação de imagens baseadas em conteúdo, devido principalmente à dificuldade de segmentar os objetos de interesse presentes na imagem, tornando a recuperação por forma, limitada aos poucos objetos mais bem discriminados

presentes na imagem. Existe a necessidade do pré-processamento da imagem a ser indexada para facilitar o processo, além da necessidade de tratamento e remoção de ruídos em imagens mais complexas, antes do processo de segmentação. Após o objeto ser encontrado, é necessário detectar sua borda utilizando algoritmos de detecção de contorno, e esse processo de detecção de bordas e formas fica mais difícil e comprometido em cenas complexas, onde há além dos ruídos, oclusão parcial de objetos e sombras sobre regiões das imagens. Os atributos de forma dos objetos na imagem são também representados através de vetores de valores reais, embora cada vetor possa ter uma dimensão e, nesse caso, um conjunto de vetores não tem uma dimensão característica, embora possa ser definida uma função de dissimilaridade. Assim, o conjunto de formas extraídas das imagens pode ser visto como elementos de um espaço métrico e indexado dessa forma. Uma outra técnica é a de aproximar as formas encontradas por outras mais simples e fáceis de manusear, ou seja, podem ser usadas triangulação ou aproximação por retângulos de contorno (*bounding boxes*) para representar formas irregulares, com a vantagem de que os requisitos de armazenagem são menores e a comparação mais simples, sendo que, somente em um último passo de comparação faz-se necessária a manipulação do objeto irregular em si.

4.4 Conclusão

Como inexiste um método de extração de características ótimo para cálculo de similaridade em imagens médicas, o objetivo do trabalho é utilizar algoritmos de extração de características computacionalmente baratos como filtros preliminares, reduzindo um grande número de imagens do conjunto candidato para a resposta à consulta por similaridade.

O histograma métrico é uma nova técnica que permite uma execução mais rápida do processo de filtragem baseado em histogramas de imagens. Além disso, não é computacionalmente caro obtê-lo e ele reduz consideravelmente o conjunto resposta e, dessa forma, ele é o método de extração de características adotado nesse trabalho.

CAPÍTULO 5 - SRIS-HC

5.1 Sistema de Recuperação de Imagens Similares – SRIS-HC

O Sistema de Recuperação de Imagens Similares – SRIS-HC foi desenvolvido com a finalidade de demonstrar a viabilidade da técnica de recuperação de imagens por conteúdo no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (HCFMRP/USP). Além disso, tal funcionalidade é um recurso adicional de um Sistema PACS, uma vez que os sistemas PACS tradicionais não suportam ainda esse recurso de grande interesse que é a busca de imagens similares e mesmo a recuperação por conteúdo.

O SRIS-HC foi desenvolvido como uma extensão do Sistema de Informação em Radiologia (RIS) do Serviço de Radiodiagnóstico do HCFMRP/USP – o Sistema de Laudo Eletrônico. Dessa forma, as funcionalidades do sistema original foram mantidas totalmente, inclusive o padrão dos módulos de consultas do Sistema de Laudo Eletrônico, que é a porta para a integração com os demais Sistemas de Informação Hospitalar do hospital, e com o mini-PACS que vem sendo desenvolvido, conforme ilustra a Figura 15.

Figura 15 - Integração SRIS-HC com RIS, HIS e mini-PACS do HCFMRP/USP

Devido à integração do SRIS-HC com o Sistema de Laudo, é possível fazer consultas por similaridades, visualizando além das imagens resultantes da consulta, todas as informações relativas ao exame feito (tais como data, local de realização, clínica, região, modalidade, equipamento e informações do paciente), inclusive o laudo médico do exame. O SRIS-HC permite ainda consultar um exame e visualizar todas as imagens do exame em pequenos *thumbnails*¹.

O Sistema deverá aumentar a frequência com que os médicos farão uso de pesquisa de imagens de outros estudos dos pacientes com o intuito de auxiliar na interpretação do estudo corrente. Esse aumento na utilização desses recursos deve-se ao fato de que, disponibilizando o acesso ao sistema através das estações de trabalho localizadas em qualquer local do hospital, os médicos poderão pesquisar as imagens sem terem que se dirigir ao Serviço de Radiodiagnóstico para solicitar as imagens que desejam visualizar, ocorrendo uma redução do esforço necessário para se fazer uma pesquisa mais profunda.

Para tanto, é necessário que a recuperação e disponibilização das imagens consultadas seja rápida e eficiente, sendo necessário o uso de estruturas de indexação que possibilitem a indexação e recuperação das imagens de forma otimizada.

Como os atributos extraídos das imagens são dados multidimensionais, de dimensão usualmente elevada, o processo de indexação de imagens é complexo. A seleção de imagens baseadas no seu conteúdo consome muito tempo, portanto a abordagem usual é extrair características usando algoritmos especiais de processamento de imagens, chamados “extratores”. Esses algoritmos analisam uma imagem e retornam um conjunto de valores, o vetor de característica. Eles podem ser utilizados para comparar pares de imagens, permitindo que um filtro preliminar possa ser passado no conjunto de imagens. Utilizar conjuntos de características torna a seleção das imagens muito mais rápida do que comparar cada imagem real. Utilizando essa abordagem, sempre que uma imagem é armazenada na base de dados, um número de extratores obtém um conjunto de características que são armazenadas como atributos numéricos, junto com a imagem que é armazenada como um atributo blob (*Binary Large Objects – BLOB's*) [Araújo_2002].

As imagens são indexadas e recuperadas através de características extraídas das mesmas. O SRIS-HC suporta atualmente duas técnicas de extração de características de imagens baseadas na distribuição dos níveis de cinza: o histograma tradicional e o histograma métrico. As características são extraídas e armazenadas na base de dados juntamente com as

¹ *Thumbnails*: imagens em miniaturas, fotos minimizadas, slides.

imagens para que possam ser armazenadas na estrutura métrica Slim-tree. É através da Slim-tree que essas características são indexadas e consultadas.

O processo global do SRIS-HC consistiu em armazenar as imagens no banco de dados, relacionando-as com o exame do Sistema de Laudo Eletrônico através da chave do exame contida no arquivo DICOM das imagens (conforme ilustra a Figura 16). Estando as imagens armazenadas no banco de dados, relacionadas com os exames radiológicos, é possível fazer consultas baseadas no conteúdo das imagens exibindo as imagens resultantes da pesquisa juntamente com todas as informações relativas ao exame que gerou cada imagem, inclusive o laudo médico do exame. Como atualmente o Sistema de Laudo Eletrônico abrange somente as informações textuais do exame, O SRIS-HC poderá ser adotado como uma extensão do mesmo, uma vez que irá permitir uma consulta mais completa dos exames radiológicos, exibindo além das informações textuais, todas as imagens pertencentes ao exame.

O SRIS-HC anexou as imagens aos respectivos exames radiológicos e, além disso, oferece o recurso adicional de fazer consultas de imagens baseadas em suas informações pictóricas, fornecendo como resultados da busca as imagens e todas as informações do respectivo exame, contidas no Sistema de Laudo Eletrônico.

Figura 16 - Processo global do Sistema de Recuperação de Imagens Similares - SRIS-HC

5.2 Metodologia de Desenvolvimento

A fase inicial para o desenvolvimento do SRIS-HC consistiu das seguintes etapas:

- 1) Familiarização com a biblioteca utilizada;
- 2) Análise do conjunto de imagens adotado como base e extensão da biblioteca utilizada;
- 3) Definição do Modelo de Dados do SRIS-HC;

Dessa forma, a partir das etapas da fase inicial, que serão descritas a seguir, foi possível o desenvolvimento dos módulos do sistema, que estará sendo detalhado no item 5.3 - Arquitetura do SRIS-HC.

5.2.1 Familiarização com a biblioteca utilizada

A *Dicomlib*, biblioteca utilizada na implementação do SRIS-HC, vem sendo projetada pelo Grupo de Base de Dados e Imagens (GBdI) do ICMC-USP de São Carlos, com a finalidade de estarem desenvolvendo, em conjunto com o Centro de Ciências das Imagens e Física Médica, o cbPACS [Bueno_2002b], que é um PACS que permite Recuperação de Imagens Baseadas em Conteúdo.

A biblioteca foi desenvolvida utilizando-se a linguagem de desenvolvimento Borland C++Builder 5.0 (www.borland.com), e por esse motivo, o SRIS-HC também foi implementado utilizando-se a mesma linguagem de programação. Além disso, todas as rotinas e a implementação da Slim-tree foram feitas em C, sendo este também um fator crucial na escolha da ferramenta de desenvolvimento adotada.

5.2.2 Análise do Conjunto de Imagens Adotado como Base e Extensão da Biblioteca Utilizada

O segundo passo no desenvolvimento do SRIS-HC foi a familiarização com o conjunto de imagens fornecido pelo Centro de Ciências das Imagens e Física Médica (CCIFM) consistindo de 5 CDs de Imagens de Ressonância Magnética de diferentes regiões do corpo humano, totalizando 10390 imagens de 53 exames radiológicos de 51 pacientes.

As imagens encontram-se armazenadas em arquivos no formato DICOM 3.0. Os arquivos DICOM são compostos por informações textuais armazenadas em *tags* e pela própria imagem.

A Figura 17 ilustra algumas *tags* contidas em um arquivo DICOM de uma imagem.

Dentre as *tags* ilustradas, podemos visualizar a *tag* (0008,0050) *Accession Number* e (0020,0013) *Instance Number*, que são utilizadas pelo SRIS-HC e armazenadas junto com as imagens.

EXEMPLOS DE TAGS CONTIDAS EM UM ARQUIVO DICOM		TAGS UTILIZADAS		
TAG	NOME DA TAG	TAG	NOME DA TAG	CAMPOS CORRESPONDENTES
(0008,0050)	Acession Number	(0008,0050)	Acession Number	NUM_EXAME
(0010,0020)	Patient ID			DIG_EXAME
(0008,0020)	Study Date	(0020,0013)	Instance Number	NUM_IMAGEM
(0008,0060)	Modality			
(0020,0011)	Series Number			
(0020,0013)	Instance Number			

EXEMPLOS DE TAGS CONTIDAS EM UM ARQUIVO DICOM	
...	
{0008,0020} - DA - 0000000008 - value: unknown = 20011101	
{0008,0050} - SH - 0000000008 - value: unknown = 115699-3	
{0008,0060} - CS - 0000000002 - value: unknown = MR	
{0010,0010} - PN - 0000000014 - value: Patient's Name = RQZYTWPQ RYWSATZ	
{0010,0020} - LO - 0000000008 - value: Patient's ID = 0212423K	
{0010,0030} - DA - 0000000008 - value: Patient's Birth Date = 19290628	
{0010,0040} - CS - 0000000002 - value: Patient's Sex = F	
{0010,1010} - AS - 0000000004 - value: Patient's Age = 072Y	
{0020,0010} - SH - 0000000006 - value: unknown = 1	
{0020,0011} - IS - 0000000006 - value: unknown = 1	
{0020,0012} - IS - 0000000006 - value: unknown = 1	
{0020,0013} - IS - 0000000006 - value: unknown = 3	
FFFC,FFFC) - OB - 0000000002 - value: unknown =	

Figura 17 - Exemplo de algumas tags do arquivo DICOM de uma imagem, destacando as tags utilizadas nesse projeto.

Devido ao trabalho de vinculação das imagens de Ressonância Magnética com o Sistema de Laudo Eletrônico [Caritá_2000][Caritá_2002], adotou-se um padrão na forma de trabalho dos técnicos do HCFMRP no momento da aquisição das imagens, que consistiu em inserir em uma das *tags* do DICOM, a *tag* (0008,0050) – *Accession Number*, a chave do exame radiológico (composta pelo número do exame e um dígito de referência do ano, conforme ilustrado na Figura 17), gerada pelo Sistema de Laudo Eletrônico. A partir desse momento, as novas imagens geradas possuíam no interior de seus arquivos a chave que permite vinculá-las com o exame radiológico.

As imagens utilizadas nesse trabalho já fazem parte dessa nova geração de imagens obtidas com a nova forma de trabalho dos técnicos do HCFMRP. Portanto, com a utilização dessa nova *tag*, a biblioteca do GBdI foi estendida, acrescentando uma nova propriedade que permitisse, ao abrir um arquivo DICOM, armazenar o número do exame e dígito (ex: 11534-3) e o número sequencial da imagem (ou seja, se um exame possui 230 imagens, esse número estará compreendido entre os valores 1 e 230).

5.2.3 Definição do Modelo de Dados do SRIS-HC

As tabelas utilizadas pelo SRIS-HC foram modeladas em integração com o modelo de dados do Sistema de Laudo Eletrônico. Devido à extensão do modelo de dados do Laudo Eletrônico, a Figura 18 ilustra as tabelas do SRIS-HC e somente a tabela EXAME_RADIOLOGICO, que é a tabela núcleo do modelo do Laudo Eletrônico.

Figura 18 - Modelo de Dados do SRIS-HC

Foi criado um campo na tabela EXAME_RADIOLOGICO que contém o total de imagens pertencentes ao exame. A cada imagem inserida em IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO, este campo é incrementado através de um *trigger* (veja a definição e corpo do *trigger* em Anexo I).

Conforme ilustrado na Figura 18, foram modeladas no SRIS-HC as seguintes tabelas:

? **IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO**: contém todas as imagens do exame do paciente e, portanto, possui a chave estrangeira NUM_EXAME e DIG_EXAME, da tabela EXAME_RADIOLOGICO do Sistema de Laudo Eletrônico. Somente as

imagens que possuem a chave NUM_EXAME e DIG_EXAME no seu arquivo DICOM e um exame relacionado são consideradas pelo SRIS-HC no momento do armazenamento da imagem na base de dados.

- ? **EXTRATOR_CARACTERISTICAS:** essa tabela contém os extratores de características que o sistema suporta. Cada característica suportada pelo sistema deverá estar armazenada nessa tabela conforme a Tabela 2. Ou seja, o histograma tradicional deverá possuir o código 1, e o histograma métrico o código 2. O campo IDF_ATIVO permite ativar ou desativar o extrator. Desativar um extrator implica em não considerá-lo no momento do armazenamento das imagens, quando se armazena as imagens e os vetores resultantes da aplicação dos extratores ativos sobre as imagens. Ou seja, se o histograma tradicional não estiver ativo, ao armazenar as imagens e características extraídas, somente a característica extraída pelo extrator do histograma métrico será armazenada.

Tabela 2 - Extratores suportados pelo SRIS-HC

CÓDIGO	NOME DO EXTRATOR	ATIVO (S/N)
1	HISTOGRAMA TRADICIONAL	S
2	HISTOGRAMA MÉTRICO	S

- ? **CARACTERISTICAS_IMAGENS** : nessa tabela serão armazenadas as características (vetores de resultados) extraídas das imagens.
- ? **LOG_IMPORTACAO_IMAGENS:** essa tabela permite monitorar as operações de armazenamento. No momento da armazenagem das imagens na base de dados, é permitido ao usuário informar uma breve descrição da operação. Além disso, é armazenado também, no campo IDF_PROCESSO, o tipo de operação executada (1-armazena somente as imagens; 2-armazena as imagens e as características extraídas através dos extratores ativos; 3-armazena somente as características extraídas das imagens contidas no banco de dados que foram armazenadas previamente sem extrair as características). No início da operação de armazenamento, é gerado um registro nessa tabela, cujo número contido em NUM_LOG_ARMAZENAMENTO será transportado para a tabela que contém as imagens e a tabela que contém as características. No final da operação, o registro é atualizado com a data e hora de conclusão e o total de imagens envolvidas. Dessa forma, é possível saber quando uma imagem/característica foi armazenada na base de dados e o tempo gasto na operação.

5.3 Arquitetura do SRIS-HC

O SRIS-HC é composto dos seguintes módulos principais:

- 1) Módulo de Armazenamento das Imagens e Características Extraídas;
- 2) Módulo de Extração e Armazenamento de Características das Imagens Posterior ao Armazenamento;
- 3) Módulo de Montagem da Árvore Slim-tree;
- 4) Módulo de Consulta de Imagens Similares (núcleo do sistema);
- 5) Módulo de Consulta de Exames dos Pacientes e Respectivas Imagens e Laudos Médicos;
- 6) Módulo de Visualização de Logs de Armazenamento;
- 7) Módulo de Abertura e Acesso ao Sistema;

A Figura 19 permite uma visão geral dos módulos que compõem o SRIS-HC. Cada módulo será descrito detalhadamente a seguir.

Figura 19 - Arquitetura do SRIS-HC

5.3.1 Módulo de Armazenamento das Imagens e das Características Extraídas

A *dicomlib* permite armazenar as imagens no formato jpg (*Joint Photographic Group*) ou em um formato proprietário denominado **gbdi**, que contém um cabeçalho e a imagem. Como a biblioteca é mais completa no formato gbdi, possuindo mais recursos, as imagens foram armazenadas no formato proprietário. As imagens foram armazenadas em um Banco de Dados Relacional Oracle 8i, mantendo a integridade do relacionamento com os exames do Sistema de Laudo Eletrônico.

De uma forma geral, o processo de armazenamento das imagens consiste em abrir o arquivo DICOM da imagem, extrair o “número_do_exame-dígito_do_exame”, verificar a integridade relacional desse exame (se existe um exame com esse número na base de dados), armazenar esse número e o “número da imagem” (extraído de uma *tag* do arquivo DICOM), e armazenar, juntamente com a imagem, na tabela **IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO**. Além disso, conforme desejado, após armazenar a imagem, são aplicados sobre ela os extratores ativos, extraíndo suas respectivas características e armazenando-as na base de dados. Para isso, foi desenvolvido um módulo que engloba todas essas operações, que é o Módulo de Armazenamento das Imagens e Características Extraídas.

Visando agilizar o processo de armazenamento das imagens, este módulo possibilita duas formas de execução desse processo, denominadas de forma parcial ou direta e forma total, ficando a critério do usuário qual forma de armazenamento utilizar.

A forma parcial ou direta de armazenamento permite armazenar somente a imagem, sem envolver o processo de extração e armazenamento das características. Esse processo pode ser executado posteriormente, no módulo que permite extrair e armazenar as características das imagens ainda não processadas. O armazenamento total consiste em armazenar a imagem, extrair as características suportadas pelo sistema (histograma tradicional e histograma métrico) e armazená-las na base. É importante oferecer as duas opções de armazenamento, pois nem sempre todas as características precisam ser extraídas em um dado momento. Além disso, no futuro pode haver necessidade de comparar as imagens por outros extratores, que já façam parte do sistema ou que porventura venham a ser acrescentados.

Para facilitar o fornecimento do nome e local dos arquivos DICOM a serem processados e armazenados, é possível ao usuário selecionar determinados arquivos de uma pasta, ou informar um diretório que contenha todos os arquivos a serem armazenados, considerando-se inclusive os subdiretórios nele contidos. Caso seja informado um diretório, por exemplo D:\, o sistema monta uma lista contendo o nome de todos os arquivos contidos

nesse diretório e nos subdiretórios existentes. Esse nome é composto inclusive pelo nome do local onde se encontra (por exemplo: D:\PACIENTE1\ESTUDO1\SE001\IM1, D:\PACIENTE1\ESTUDO1\SE001\IM2, etc). Ou seja, o diretório e subdiretórios existentes serão percorridos, selecionando-se os arquivos e adicionando-os em uma lista, para serem processados.

Antes de iniciar o armazenamento do primeiro arquivo da lista, é gerado um registro de *log* (o log de armazenamento é inicializado), para que o número desse registro seja armazenado junto com as imagens e as características. Este log conterá inclusive uma breve descrição da operação de armazenamento, fornecida pelo usuário, conforme possibilita o módulo de armazenamento de imagens e características.

A seguir inicia-se um processo repetitivo para cada arquivo da lista a ser armazenado, que consiste em abrir o arquivo DICOM das imagens e processá-los, extraindo a imagem e as informações textuais relevantes, contidas nas *tags*. Da *tag Acession Number* é extraído o número do exame e respectivo dígito, e da *tag Instance Number* é extraído o número da imagem. Essas informações textuais são armazenadas junto com a imagem (convertida no formato gbdi) na tabela *IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO*, mantendo a relação com o exame do paciente. Caso não exista um exame na base de dados com o número igual ao número extraído do arquivo DICOM da imagem, essa imagem será desprezada, não sendo armazenada na base de dados.

Após armazenar a imagem, caso tenha sido optado pela forma de armazenamento total, são aplicados os extratores ativos nas imagens, extraindo as características a serem armazenadas. Quando todos os arquivos da lista tiverem sido armazenados, o log de armazenamento é finalizado, gravando a data e hora do término da operação e o total de imagens envolvidas no processo.

A Figura 20 ilustra todo o processo de armazenamento descrito. Conforme podemos ver na figura, caso a operação de armazenamento selecionada pelo usuário tenha sido a forma direta, após o armazenamento da imagem, busca-se o novo arquivo a ser inserido. Caso contrário, após o armazenamento da imagem, existe um processo intermediário que irá extrair as características da imagem e armazená-las na base, e somente depois, um novo arquivo, caso não tenha terminado ainda, será processado.

Na Figura 21 pode-se visualizar a tela de armazenamento das imagens e características. Pode-se notar, na figura, que existem 494 arquivos na lista, a serem processados. Em “observações sobre a importação a ser efetuada” (no canto superior direito da figura) o usuário pode escrever qualquer informação a respeito desse processo.

Figura 20 - Esquema de armazenamento na base de dados de imagens e características extraídas

Figura 21 - Tela do SRIS-HC de armazenamento das imagens no banco de dados

O armazenamento das imagens e características foi feito de forma variada, escolhendo-se ora uma pasta contida em um CD, ora uma pasta contida no disco rígido do computador, de forma a testar o tempo gasto nas duas situações. Além disso, o armazenamento foi feito de forma direta ou parcial, e de forma total, podendo assim verificar quanto tempo se gasta para armazenar somente as imagens, ou quanto tempo leva para armazenar somente as características extraídas, ou ambas operações.

Caso o usuário opte pelo processo que armazena somente as imagens, existe o módulo de extração de características que permite extrair e armazenar as características das imagens que não foram extraídas ainda.

5.3.2 Módulo de Extração e Armazenamento de Características das Imagens Posterior ao Armazenamento

Caso a operação executada no armazenamento das imagens tenha sido a operação direta ou parcial (somente as imagens foram armazenadas), é necessária a execução posterior do processo que extrai e armazena as características das imagens ainda não processadas. Isso é feito no Módulo de Extração e Armazenamento das Características Posterior ao Armazenamento da Imagem (Figura 22).

Figura 22 - Tela de Extração e Armazenamento Posterior das Características das Imagens

Neste módulo, é possível selecionar o extrator a ser aplicado nas imagens ainda não processadas (extraindo as características) ou selecionar todos os extratores ativos, conforme ilustra a Figura 22.

Após esta operação, seleciona-se todas as imagens existentes na base que não possuem características extraídas através dos extratores ativos selecionados, retornando um conjunto de

imagens a ser processado. A partir deste conjunto serão obtidas as características das imagens referentes a cada extrator e armazenadas na base.

Além disso, essa operação irá gerar um *log* de armazenamento, cujo número do *log* será armazenado juntamente com as características extraídas, de forma a possibilitar medir o tempo gasto na operação toda, o tempo médio de se processar cada imagem. É possível também saber quais características ou imagens foram envolvidas nesse processo.

O tratamento do *log* de armazenamento funciona da mesma forma que no módulo de armazenamento das imagens, ou seja, antes de se iniciar o processo é gerado um *log* contendo algumas informações tais como o tipo de operação (neste caso, o tipo de operação é a extração e armazenamento das características somente) e data e hora inicial. O número do *log* gerado será armazenado juntamente com as características extraídas e, ao final da operação, é finalizado o *log* de armazenamento atualizando-se as informações da hora de término da operação e total de imagens envolvidas.

5.3.3 Módulo de Montagem da Árvore Slim-tree

As rotinas utilizadas da Slim-tree fazem parte da versão atual disponível e que possui algumas restrições. Isto é, atualmente a árvore é carregada na memória, devendo ser montada a cada vez que o sistema inicializa. Além disso, é possível montar somente uma árvore, ou seja, se existem dois extratores suportados pelo sistema, somente uma árvore poderá ser montada a cada execução do sistema. Sendo assim, se é necessário fazer uma consulta de imagens similares em histogramas métricos, a árvore será montada antes de se iniciar o processo de pesquisa, sendo inseridas na árvore todas as características resultantes da extração do histograma métrico das imagens. Se for necessário, após esta consulta, fazer uma consulta sobre os histogramas tradicionais, será necessário sair do sistema, entrar novamente, montar a árvore com os histogramas tradicionais e somente após esse processo, executar a consulta desejada.

Uma nova versão da Slim-tree, em disco e não mais na memória principal, e que permite a existência de mais de uma árvore ao mesmo tempo, vem sendo desenvolvida pelo GBdI, porém devido à limitação de tempo para conclusão desse trabalho, foi necessário utilizar a versão atual, não sendo possível esperar a conclusão dessa nova versão para o desenvolvimento do SRIS-HC.

Dessa forma, na primeira vez que se desejar executar uma consulta por similaridade, será verificado se já existe uma árvore ativa ou não. Se não existir uma árvore ativa, solicita-se inicialmente que o usuário informe o extrator desejado, conforme a Figura 23.

Figura 23 - Tela de seleção do extrator a utilizar

Após informar o extrator a ser utilizado na montagem da árvore, aparece um novo módulo, que é o Módulo de Montagem da Árvore Slim-tree (Figura 24). O extrator selecionado será passado como parâmetro para esse módulo.

Quando o usuário clicar no botão “criar árvore”, será executada uma consulta à base para selecionar todas as características do extrator selecionado a serem inseridas na Slim-tree. Conforme podemos visualizar na Figura 24, existem 10390 características ou atributos referentes ao extrator “histograma métrico” selecionado. Cada um desses atributos será inserido na Slim-tree da seguinte forma: o atributo contido na base é convertido para um objeto da Slim-tree e depois inserido na árvore através da rotina de inserção da própria Slim-tree (*StartInsert*). Apesar de parecer um processo lento, o tempo gasto para inserir 10390 objetos contendo histogramas métricos na árvore é de aproximadamente 47 segundos.

Figura 24 - Tela de montagem da Slim-tree

Após todos os atributos terem sido inseridos na Slim-tree, a árvore estará pronta para ser utilizada e este processo não será mais necessário durante a sessão de consultas, inclusive o acesso a este módulo de montagem da árvore é bloqueado. A menos que o usuário saia do sistema e retorne novamente, essa rotina não será mais executada.

5.3.4 Módulo de Consulta de Imagens Similares

Este módulo é considerado o núcleo do SRIS-HC, pois engloba todos os demais módulos (que foram desenvolvidos para possibilitar a execução de consultas por

similaridade). É através desse módulo que as consultas por similaridade (*k-Nearest Neighbor Query* ou *Range Query*) são executadas e as imagens semelhantes à imagem de referência são recuperadas.

O acesso ao módulo de consulta é feito através do botão que contém o título “Busca Imagens Similares”, que está localizado no canto superior esquerdo na tela principal, conforme ilustra a Figura 25.

Figura 25 - Tela principal do SRIS-HC

Quando o usuário clica no botão de pesquisa por imagens similares (destacado com linhas pontilhadas na Figura 25), caso não exista uma Slim-tree carregada na memória, aparecerá a tela de Montagem da Slim-tree. E somente após a Slim-tree estar criada e carregada na memória, é permitido o acesso à tela de consulta de imagens similares.

Para executar uma consulta por similaridade é necessário fornecer a imagem de referência (ou de busca) a ser utilizada. Através da imagem de busca, executa-se uma busca por imagens similares (em histogramas métricos ou tradicionais, conforme extrator selecionado) à imagem de referência, de acordo com os critérios de consulta fornecidos (tipo de consulta, número de imagens similares, ou faixa de similaridade).

A imagem de referência das consultas pode estar no formato gbdi (e, portanto, armazenada no banco), ou no formato DICOM, existindo assim duas formas de selecionar a imagem de busca.

A primeira forma é selecionar um arquivo DICOM da imagem, localizado em um CD ou disquete ou em um diretório no disco do computador. O usuário informa o local e o nome do arquivo DICOM, que será aberto e processado, extraindo-se a imagem e convertendo-a no

formato gbdi. A seguir, será aplicado o extrator (que foi selecionado na montagem da Slim-tree antes de se permitir o acesso ao módulo de consulta), extraíndo-se a característica. A característica extraída (atributo vetorial contendo valores numéricos) é então convertida em um objeto de busca da Slim-tree e, após esse processo, a consulta pode ser realizada. Pode-se visualizar uma ilustração desse processo na Figura 26, abaixo da linha pontilhada.

A segunda forma de selecionar a imagem de busca ou referência é selecionar uma imagem no formato gbdi contida na base de dados. Para facilitar a seleção da imagem de referência no formato gbdi, foi desenvolvido o “Módulo de Consulta de Exames dos Pacientes e Respectivas Imagens e Laudo Médicos”, que será descrito detalhadamente no item 5.3.5. Basicamente, neste módulo o usuário pesquisa o paciente desejado, visualizando todos os seus exames e respectivos laudos médicos. Selecionando-se um exame do paciente, é possível visualizar todas as imagens do exame selecionado, com a opção de escolher uma imagem para ser utilizada como imagem de referência.

Após selecionar uma imagem de referência no formato gbdi, o sistema verifica se a mesma possui a característica previamente selecionada na montagem da Slim-tree, já extraída e armazenada na base. Se a característica já estiver na base, a mesma será convertida em um objeto de busca da Slim-tree. Caso contrário, a imagem passará pelo processo de extração dessa característica, sendo então armazenado na base o vetor resultante (para evitar que a mesma imagem passe por esse processo caso seja selecionada novamente). Após o armazenamento da característica extraída, a mesma será convertida no objeto de busca da Slim-tree. A partir daí, o processo de consulta é único, de acordo com os critérios de pesquisa fornecidos pelo usuário (tipo da consulta, número de imagens desejadas, ou faixa de similaridade a que devam se encontrar as imagens resultantes).

O usuário deve informar como critério de pesquisa, o tipo de consulta que deseja fazer: se uma consulta aos vizinhos mais próximos (*k-Nearest Neighbor Query* ou *k-NN*), ou se uma consulta por abrangência (*Range Query* - *RQ*).

A consulta *k-NN* retorna as *k* imagens mais semelhantes à imagem de busca. Portanto, para executar uma consulta aos vizinhos mais próximos, é necessário informar o *k*, ou seja, o total de imagens mais semelhantes que se deseja recuperar. Na Figura 27, que ilustra uma consulta do tipo *k-nn* prestes a ser feita, o *k* fornecido é 14.

A consulta por abrangência (*RQ*) retorna todas as imagens que distam da imagem de referência de um valor *r*, ou seja, cuja faixa de dissimilaridade esteja compreendida entre zero (sendo portanto a própria imagem) e o valor *r* fornecido.

Figura 26 - Esquema de consulta por imagens similares

A Figura 27, que é a tela de consulta de imagens similares do SRIS-HC, ilustra as explicações anteriores. Nela podemos visualizar, no topo da tela, dois botões que permitem selecionar a imagem de referência e, no lado direito, o local onde são informados os critérios de pesquisa necessários. Além disso, pode-se visualizar o extrator utilizado (descrito logo abaixo dos botões de seleção da imagem de referência).

Tendo sido informados os critérios de pesquisa, basta efetuar a consulta, clicando no botão “Pesquisa Imagens Similares”, conforme a Figura 27. Após a realização da pesquisa na Slim-tree, serão retornados, caso existam objetos que satisfaçam os critérios de pesquisa, os objetos da árvore.

Figura 27 – Tela de consulta de imagens similares - consulta K-Nearest Neighbor Query, com k = 14

Abaixo do botão de pesquisa (ainda na Figura 27) existe um quadro de informações estatísticas da pesquisa. Imediatamente após ter sido pressionado o botão de pesquisa, é escrito nesse quadro a data e hora de início da consulta. E imediatamente após a Slim-tree retornar o resultado da busca, escreve-se a hora de conclusão, possibilitando medir o tempo que o sistema leva para pesquisar na Slim-tree as imagens semelhantes. Esse tempo é mínimo, ou seja, 1 segundo para se consultar em uma base contendo 10395 imagens. A consulta é

rápida, porém o que leva mais tempo é buscar as imagens na base e montar os *thumbnails* a serem exibidos. Sendo assim, após o término da montagem dos *thumbnails*, escreve-se no quadro de estatísticas, a hora em que acabou esse processo. Dessa forma, pode-se medir tanto o tempo que leva para se fazer a consulta na Slim-tree quanto o tempo gasto para exibir as imagens em miniatura.

Os *thumbnails* são montados da seguinte forma: os objetos da Slim-tree, resultantes da pesquisa, possuem em seu interior a identificação (Oid) da imagem, todo o vetor da característica extraída, além da distância do objeto à imagem de referência. Através do Oid da imagem, executa-se uma busca na base de dados da imagem detentora desse Oid e seu respectivo número de identificação do exame. A imagem é então exibida em miniatura, contendo abaixo dela, as informações fornecidas pelo objeto resultante da consulta na Slim-tree e associado à imagem, as informações do exame e do laudo médico desse exame (a busca dessa informação é feita através do número de identificação do exame).

Ao término da montagem dos *thumbnails*, a tela de resultados torna-se ativa. Na tela de resultados pode-se visualizar todas as imagens em miniatura, contendo abaixo delas o Oid da Imagem, o número do exame e dígito, o número da imagem no exame, e a distância entre ela e a imagem de referência. As imagens são exibidas em ordem decrescente de similaridade, ou seja, da imagem mais similar para a menos similar. A Figura 28 ilustra 3 imagens resultantes, sendo a primeira a própria imagem de referência (note que a distância é zero). O Oid da primeira imagem na figura é 909, o número do exame é 115229-3 (sendo 3 o dígito e 115229 o número do exame) e o número da imagem no exame é 665 (esse exame possui 676 imagens).

Figura 28 - Zoom em 3 miniaturas de imagens resultantes da consulta por similaridade

A Figura 29 ilustra a própria tela de resultados da consulta *k-NN* executada, ilustrada pela Figura 27. Na parte superior, tem um título contendo algumas informações a respeito da consulta executada, ou seja, os parâmetros de consulta. As imagens são exibidas em miniaturas e, através da barra de rolagem, é possível posicionar a tela para visualizar as imagens seguintes. No lado direito da tela são exibidas informações a respeito do exame da

imagem (data do exame, nome do exame, região, nome e registro do paciente e data de nascimento), e um gráfico que ilustra o histograma métrico ou o tradicional (de acordo com o extrator selecionado na montagem da árvore) da imagem selecionada. Uma imagem é selecionada dando-se um clique sobre ela com o mouse, ou navegando por elas com as setas.

Figura 29 - Tela contendo as imagens resultantes da consulta por k-nearest neighbor query com $k = 14$

Para visualizar a imagem em seu formato original, basta dar um duplo clique com o mouse sobre a miniatura desejada, conforme ilustra a Figura 30. Além disso, ao clicar sobre a imagem em seu formato original, tem-se acesso a um menu (Figura 30) que permite equalizar a imagem ou visualizar o seu respectivo laudo médico (conforme ilustra a Figura 31).

Vale salientar que, em todas as telas onde aparecem nomes de pacientes ou nomes de médicos do HCFMRP, a exibição desses nomes foi alterada, de forma a não aparecer o nome real, para possibilitar a apresentação desses resultados nessa dissertação. Os nomes são exibidos em um campo calculado, após terem sido submetidos a uma rotina que altera as letras do nome.

Para ilustrar uma consulta por *range query*, utilizando-se a mesma imagem de referência da Figura 27, selecionou-se como critério de pesquisa uma faixa que compreendesse algumas imagens resultantes da consulta *k-nn*. Ou seja, selecionou-se uma faixa que abrangesse imagens distantes de 0,041 (conforme Figura 32) da imagem de referência. Os objetos resultantes foram os mesmos, dentre essa faixa, dos resultantes da consulta *k-nn*, ilustrando inclusive a coerência das consultas. A Figura 33 ilustra o resultado da consulta por abrangência (*range query*) da mesma imagem de referência.

Figura 30 - Tela que ilustra a visualização da imagem resultante selecionada em seu tamanho original

Figura 31 - Visualização do laudo médico da imagem selecionada

Figura 32 - Tela de consulta de imagens similares por range query, com r (raio) = 0,041

Figura 33 - Tela contendo imagens resultantes da consulta por range query com raio = 0,041

5.3.5 Módulo de Consulta de Exames dos Pacientes e Respectivas Imagens e Laudos Médicos

O módulo de consulta de exames de pacientes e respectivas imagens e laudos médicos foi desenvolvido mantendo o padrão do módulo de consulta de exames de pacientes do Sistema de Laudo Eletrônico, com o recurso adicional de visualização de todas as imagens dos exames, em miniaturas, com a possibilidade de visualizar uma imagem desejada em seu tamanho original.

A finalidade do módulo foi permitir ao usuário selecionar uma imagem de um exame de um paciente para servir como imagem de referência das consultas por similaridade, além de permitir consultar exames de pacientes com as imagens associadas.

Existem duas formas de informar o paciente desejado: digitando o registro ou pesquisando pelo nome e sobrenome do paciente. Para pesquisar pelo nome e sobrenome basta clicar no botão ao lado do registro contendo um binóculo que a tela de pesquisa pelo nome do paciente será exibida. Na tela de pesquisa o usuário informa o nome (ou parte do nome) e sobrenome (ou parte do sobrenome) conforme o exemplo ilustrado na Figura 34, que todos os pacientes que se enquadram no critério de pesquisa serão exibidos, bastando então dar um duplo clique com o mouse sobre o paciente desejado. Optando-se por digitar o registro do paciente, efetua-se uma pesquisa na base de dados a procura de um paciente que possua o registro exatamente igual ao informado.

Figura 34 - Tela de consulta de pacientes

Tendo sido informado o paciente, serão exibidos todos os exames do paciente em ordem decrescente de data, ou seja, do mais recente até o primeiro exame do paciente cadastrado no sistema. Sendo assim, basta selecionar o exame desejado para visualizar as informações do laudo médico do exame, conforme ilustrado na Figura 35.

Se o exame possuir imagens armazenadas na base (uma vez que é uma base de teste e que nem todos os exames possuem imagens associadas), basta dar um duplo clique no exame desejado para visualizar as imagens em miniaturas e em seu tamanho original, bastando para isso dar um duplo clique sobre a imagem desejada para visualizá-la em seu tamanho original.

Para cada exame selecionado, efetua-se uma busca no banco de dados de todas as imagens, montando então as miniaturas a serem exibidas. Uma vez montadas as miniaturas do exame, pode-se salvá-las em um arquivo, de tal forma que a próxima vez que o mesmo exame for selecionado, não haverá necessidade de montar miniaturas das imagens, que é um processo lento, uma vez que as imagens do exame serão sempre as mesmas.

O arquivo que contém os *thumbnails* das imagens possui o nome composto do dígito do exame seguido do nome do exame, de tal forma que, se um exame possui o número 11535 e dígito 3, o nome do arquivo será “311535.pacs_img”. Após a geração ou leitura do arquivo que contém as miniaturas das imagens, as mesmas são exibidas, conforme ilustra a Figura 36.

Como existem exames que possuem mais de 600 imagens, armazenar as imagens em miniaturas em um arquivo agiliza o processo de exibição das miniaturas dos exames, porém consome espaço, uma vez que um exame contendo 676 imagens ocupa 17532 Kb. Um exame contendo 458 imagens ocupa 11860 Kb, tendo levado um tempo de 8 minutos e 31 segundos para sua montagem, ou seja, gastou em média 1,116 segundos para montar cada miniatura do exame.

Pesquisa Imagens de Exames de Pacientes

Registro: 0143043F Nome do Paciente: *Paciente com problema*
 IDAKHMA NASAK BQHNGBA OQBNQHN

Exames Realizados:

Nº Exame	Digito	Realizado	Exame	Região	Procedido	Definitivo	Tipo	Qtd Imagens
18405	0	06/09/2001	RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	COLUNA TORÁCICA	06/09/2001	06/09/2001	Procedido	161
80713	0	02/03/2001	RADIOGRAFIA SIMPLES	TORAX	03/03/2001	05/09/2001	Definitivo	0
98160	0	09/04/2001	RADIOGRAFIA SIMPLES	COLUNA CERVICAL			Não Leuado	0
90591	0	09/04/2001	RADIOGRAFIA SIMPLES	COLUNA LOMBAR			Não Leuado	0
98952	0	09/04/2001	RADIOGRAFIA SIMPLES	COLUNA TORÁCICA			Não Leuado	0
03546	0	25/03/2001	RADIOGRAFIA SIMPLES	COLUNA LOMBAR	03/03/2001	27/03/2001	Definitivo	0
09439	0	25/03/2001	RADIOGRAFIA SIMPLES	TORAX	03/03/2001	04/03/2001	Definitivo	0
03545	0	25/03/2001	RADIOGRAFIA SIMPLES	COLUNA CERVICAL	03/03/2001	27/03/2001	Definitivo	0
37134	0	23/04/2001	SEROGRAFIA	ESÔFAGO, ESTÔMAGO E DÚODENO	04/05/2001	04/05/2001	Definitivo	0
38453	0	18/04/2001	RADIOGRAFIA SIMPLES	TORAX	20/04/2001	20/04/2001	Definitivo	0
68177	2	20/03/2001 10:54:09	RADIOGRAFIA SIMPLES	TORAX	25/03/2001	26/03/2001	Definitivo	0
68176	2	20/03/2001	RADIOGRAFIA SIMPLES	TORÁCICA E LOMBAR	25/03/2001	26/03/2001	Definitivo	0
37011	2	26/03/2001 10:56:07	RADIOGRAFIA SIMPLES	TORAX			Não Leuado	0
38757	2	23/03/2001 21:01:17	RADIOGRAFIA SIMPLES	TORAX			Não Leuado	0

LAUDO MÉDICO DO EXAME AGORA SELECIONADO

Descrição do Laudo

Perda do hímen habitual de vários discos intervertebrais.
 Osteólitos em corpos vertebrais.
 Redução da altura dos corpos vertebrais de T12 e L1 que apresentam-se em curva de vertice anterior, com consequente cifose localizada nesta topografia.
 Redução da altura também é evidenciada em corpos vertebrais de L3 e L4 com formação de nódulo de Schmorl.
 Protusão discal posterior central a nível de C5-C6, com redução do espaço subaracnóideo, sendo que o disco toca a medula.
 Recortes laterais e frontais neurais de diâmetros preservados.
 Não há sinais de compressão radicular.
 Intensidade normal das lesões articulares.
 Gordura epidural e musculatura paravertebral sem alterações.

Conclusão do Laudo

Espondilose.
 Fraturas vertebrais secundárias à osteoporose.

Revisores
 UAKCAHO EQAMHHRBN LTFKHA

Emissores
 CAMHDTED AMFYSSH QASSN

clique duplo sobre o exame para visualizar todas as imagens

Figura 35 - Tela de consulta de exames do paciente e respectivos laudos médicos e imagens

Pesquisa Imagens de Exames de Pacientes

Registro: 0143043F Nome do Paciente: *Paciente com problema*
 IDAKHMA NASAK BQHNGBA OQBNQHN

Exames Realizados: Imagens do Exame Nº 11635543

dê um duplo clique sobre uma imagem desejada para visualizá-la em seu tamanho natural

Utilize a imagem selecionada como base de pesquisa

Figura 36 - Tela contendo todas as imagens em miniatura do exame selecionado do paciente

5.3.6 Módulo de Visualização de Logs de Armazenamento

O módulo de Visualização de Logs de Armazenamento foi desenvolvido para que possa fornecer uma estimativa do tempo necessário para se armazenar somente as imagens, ou armazenar as imagens e as características extraídas, ou mesmo para extrair e armazenar as características das imagens das quais não foram extraídas as características no momento em que foram armazenadas.

Nesse módulo é possível visualizar também o total de imagens envolvidas no processo, seja nos processos de armazenamento das imagens (armazenamento parcial ou total) ou no processo de extração das características posterior ao armazenamento. Além disso, uma outra informação adicional é o tempo médio gasto no processo todo referente ao *log*.

A Figura 37 ilustra todas as informações contidas no módulo de visualização de logs. Note que no final da tela pode-se visualizar a descrição do log selecionado (corrente), descrição essa que o usuário fornece antes do armazenamento das imagens, ou que o sistema gera na tela de extração das características.

N° LOG	INÍCIO	TÉRMINO	TIPO DE OPERAÇÃO	TEMPO GASTO	TOTAL IMAGENS	TOTAL IMAGENS CONTIDAS NA BASE	MÉDIA (SEG) / IMAGEM
25	08/06/2002 13:31:00	08/06/2002 14:04:58	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	33 m 59 s	1193		1.71
30	08/06/2002 18:26:06	08/06/2002 19:09:08	SOMENTE CARACTERÍSTICAS	43 m 3 s	2677		0.96
31	10/06/2002 00:36:58		IMAGENS E CARACTERÍSTICAS		194		0.00
32	10/06/2002 00:52:11	10/06/2002 00:55:00	SOMENTE CARACTERÍSTICAS	2 m 50 s	80		2.13
37	10/06/2002 01:07:02	10/06/2002 01:18:00	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	10 m 58 s	734		0.90
39	10/06/2002 01:27:35	10/06/2002 01:39:53	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	12 m 19 s	493		1.50
39	11/06/2002 10:42:17	11/06/2002 11:07:08	SOMENTE CARACTERÍSTICAS	24 m 51 s	1227		1.22
44	26/06/2002 18:04:40	26/06/2002 18:04:46	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	2 s	1		2.00
45	26/06/2002 18:06:26	26/06/2002 18:07:50	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	2 m 26 s	66		2.20
46	01/07/2002 03:04:42	01/07/2002 03:31:19	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	26 m 36 s	1724		0.83
50	01/07/2002 08:27:08	01/07/2002 08:55:52	SOMENTE CARACTERÍSTICAS	28 m 44 s	1791		0.96
61	01/07/2002 10:36:12	01/07/2002 10:38:55	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	3 m 44 s	5		44.00
62	01/07/2002 10:43:52	01/07/2002 10:43:55	SOMENTE CARACTERÍSTICAS	3 s	5		0.60
54	01/07/2002 10:47:19	01/07/2002 10:47:21	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	2 s	3		0.67
55	01/07/2002 13:47:10		IMAGENS E CARACTERÍSTICAS		1515		0.00
64	01/07/2002 14:38:08	01/07/2002 14:41:07	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	5 m 59 s	146		2.46
65	01/07/2002 14:42:05	01/07/2002 14:53:50	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	11 m 45 s	248		2.84
65	01/07/2002 16:22:43	01/07/2002 16:34:14	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	11 m 32 s	0		0.00
67	01/07/2002 16:53:57	01/07/2002 18:07:25	IMAGENS E CARACTERÍSTICAS	1 h 13 m 28 s	3434		1.28
68	02/07/2002 14:08:08		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
69	02/07/2002 14:19:04		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		4		0.00
70	02/07/2002 14:27:54		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		3		0.00
71	02/07/2002 14:47:24	02/07/2002 14:48:45	SOMENTE CARACTERÍSTICAS	1 m 22 s	0		0.00
72	02/07/2002 15:00:47		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
73	02/07/2002 15:09:50		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
74	02/07/2002 15:28:58		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
75	02/07/2002 17:58:21		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
76	02/07/2002 18:19:08		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
77	02/07/2002 19:04:33		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
79	02/07/2002 19:41:07		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
79	02/07/2002 20:21:04		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
80	02/07/2002 21:13:36		SOMENTE CARACTERÍSTICAS		5		0.00
81	03/07/2002 22:26:10	03/07/2002 22:26:27	SOMENTE CARACTERÍSTICAS	17 s	0		0.00

DESCRIÇÃO DO LOG ACIMA SELECIONADO
Armacenando 3434 imagens do cd 75A, localizadas no hd do computador, e respectivos histograma métrico e tradicional.

Figura 37 - Tela de visualização dos logs de armazenamento de imagens e/ou características do SRIS-HC

Os processos de armazenamentos nos quais ocorrem erros antes da finalização do *log* não possuem na figura a data e hora do término do processo. Além disso, na inicialização do *log* armazena-se o total de imagens que serão processadas e, na finalização, o total que foi realmente processado. Sendo assim, caso ocorra erro antes do término da operação, essa informação estará desatualizada.

Conforme a Figura 37, podemos ver que o processo para armazenar 3434 imagens, extrair os respectivos histogramas tradicionais e métricos de cada imagem e armazenar o resultado na base de dados demorou 1:13:28 h, o que corresponde, em média, a 1,28 segundos por imagem.

5.3.7 Módulo de Abertura e Acesso ao Sistema

Referente às políticas de seguranças do sistema, o SRIS-HC foi desenvolvido em conformidade com os demais sistemas do HCFMRP. É necessário que o usuário possua um nome-de-usuário e senha, adquirido junto ao Centro de Informações e Análises do HCFMRP, para estar utilizando os demais sistemas existentes no Hospital das Clínicas.

O módulo de acesso ao sistema (Figura 38) é a tela de conexão do usuário com o banco de dados, onde são solicitadas as identificações do usuário (nome-de-usuario e senha) e, somente com o fornecimento das informações corretas, o usuário conseguirá ter acesso à tela principal do SRIS-HC.

Figura 38 - Tela de conexão do usuário com o banco de dados e acesso ao SRIS-HC

A tela de acesso aparece imediatamente após a tela de abertura do SRIS-HC que contém informações sobre o sistema, conforme ilustra a Figura 39. Um outro acesso à tela de informação é a partir da tela principal, no botão que contém o título “Sobre...”.

Figura 39 - Tela de Informações Sobre o SRIS-HC

5.4 Resultados

A seguir serão ilustradas algumas consultas de imagens similares elaboradas tanto para consultas por similaridade em histogramas tradicionais quanto em histogramas métricos.

5.4.1 Caso 1

Figura 40 - Imagem de referência do caso 1

A Figura 40 é a imagem de referência selecionada para efetuar buscas por similaridade no caso 1. A figura pertence ao exame de número 116928-3 do paciente cujo registro é “0387525H”.

Utilizando-se a mesma imagem de referência, foram executadas as seguintes consultas por similaridade, conforme a Tabela 3:

Tabela 3 - Caso 1 - Consultas Executadas

Caso	Árvore Métrica	Consulta	Critério	Total de Imagens Resultantes	Tempo de Busca na Árvore	Veja ilustração dos resultados nas figuras
Caso1_a	Slim-tree de Histograma Tradicional	<i>k-nn</i>	K= 20	K	11 seg	Figura 41
Caso1_b	Slim-tree de Histograma Tradicional	<i>Rq</i>	R= 0,198	27	< 1 seg	Figura 42
Caso1_c	Slim-tree de Histograma Métrico	<i>k-nn</i>	K= 20	K	< 1 seg	Figura 43
Caso1_d	Slim-tree de Histograma Métrico	<i>Rq</i>	R= 0,198	31	< 1 seg	Figura 44

o tempo foi calculado escrevendo a data, hora, minuto e segundo atual tanto no início do processo quanto após o término das operações.

o tempo gasto para montar 20 miniaturas das imagens resultantes foi de 36 segundos.

Figura 41 - Caso1_a: resultado da consulta k-nn em uma Slim-tree contendo histogramas tradicionais

Figura 42 - Caso1_b: resultado da consulta range query em uma Slim-tree de histogramas tradicionais

Figura 43 - Caso1_c: resultado da consulta k-nn em uma Slim-tree contendo histogramas métricos

Figura 44 - Caso1_d: resultado da consulta range query em uma Slim-tree de histogramas métricos

5.4.2 Caso 2

A Figura 45 é a imagem de referência selecionada para efetuar buscas por similaridade no caso 2. A figura pertence ao exame de número 116965-3 do paciente cujo registro é “0143843F”.

Utilizando-se a mesma imagem de referência, foram executadas as seguintes consultas por similaridade, conforme a Tabela 4:

Figura 45 - Imagem de Referência do Caso 2

Tabela 4 - Caso 2 - Consultas Realizadas

Caso	Árvore Métrica	Consulta	Critério	Total de Imagens Resultantes	Tempo de Busca na Árvore	Veja ilustração dos resultados nas figuras
Caso2_a	Slim-tree de Histograma Tradicional	<i>k-nn</i>	K= 25	k	1 seg ☞	Figura 46
Caso2_b	Slim-tree de Histograma Tradicional	<i>Rq</i>	R= 0,11	13	2 seg	Figura 47
Caso2_c	Slim-tree de Histograma Métrico	<i>k-nn</i>	K= 25	K	< 1 seg	Figura 48
Caso2_d	Slim-tree de Histograma Métrico	<i>Rq</i>	R= 0,11	31	1 seg	Figura 49

☞ o tempo foi calculado escrevendo a data, hora, minuto e segundo atual tanto no início do processo quanto após o término das operações.

☞ o tempo gasto para montar 25 miniaturas das imagens resultantes foi de 20 segundos.

Figura 46 – Caso2_a : resultado da consulta k-NN em uma Slim-tree contendo histogramas tradicionais

Figura 47 – Caso2_b: resultado da consulta range query em uma Slim-tree de histogramas tradicionais

Figura 48 - Caso2_c: resultado da consulta k-NN em uma Slim-tree contendo histogramas métricos

Figura 49 - Caso2_d: resultado da consulta range query em uma Slim-tree de histogramas métricos

5.4.3 Base de Dados

A Base de Dados utilizada para a validação do SRIS-HC é uma base de dados de teste, que compreende exames radiológicos entre o período de 22 de Outubro de 1999 (data em que o RIS foi disponibilizado aos médicos e usuários do HCFMRP para utilização) e 13 de Novembro de 2001 (data em que a base de dados do ambiente de produção foi exportada para ser utilizada em um ambiente de teste).

Dentre os 5 CDs de imagens de Ressonância Magnética, obtidos junto ao Serviço de Radiodiagnóstico para testes, nem todas as imagens puderam ser armazenadas, pois eram imagens de exames realizados após a data em que a base foi exportada (13/11/2001), não existindo portanto o exame com o qual deveriam ser relacionadas. Portanto foram armazenadas 10390 imagens de 53 exames radiológicos (Tabela 5).

Após o armazenamento das imagens na base de dados do ambiente de teste, relacionadas com os respectivos exames radiológicos, foi possível fazer uma análise do total de imagens armazenadas, quantidade de exames que passaram a ter imagens associadas, ou mesmo as regiões anatômicas das imagens, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Analisando a Base de Dados, total de imagens armazenadas, total de exames relacionados, e agrupando pelas diferentes regiões das imagens

NOME DO EXAME	REGIÃO ANATÔMICA	TOTAL DE EXAMES	TOTAL DE IMAGENS
RADIOGRAFIA SIMPLES	TÓRAX	1	65
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	ABDOME	3	857
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	ANGIORRESSONÂNCIA	3	1737
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	CERVICAL E TORÁCICA	2	172
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	COLANGIORRESSONÂNCIA	2	431
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	COLUNA CERVICAL	3	146
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	COLUNA LOMBO SACRA	3	302
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	COLUNA TORÁCICA	3	235
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	COLUNA TOTAL	4	408
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	COXA ESQUERDA	2	311
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	ENCÉFALO	16	3726
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	ENCÉFALO + ANGIORRESSONÂNCIA	1	293
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	JOELHO DIREITO	1	216
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	JOELHO ESQUERDO	1	226
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	MEMBROS INFERIORES	1	162
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	MEMBROS SUPERIORES	1	199
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	OUVIDO	1	199
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	PLEXO BRAQUIAL	2	305
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	SELA TÚRCICA	3	400
TOTAL		53	10390

Uma vez que o conjunto de imagens a ser armazenado era de imagens de Ressonância Magnética, detectou-se com a análise que existiam imagens de exames que não eram de Ressonância Magnética, e sim de Radiografia Simples. Nesses casos em que as imagens eram de outros exames (3 casos), foi possível investigar o que ocorreu. A Tabela 5 mostra somente um caso (de radiografia simples, destacado em vermelho), pois os dois outros casos detectados foram corrigidos antes de se fazer a análise das imagens, mantendo somente um caso incorreto para ilustrar o ocorrido.

Para investigar o que estava errado entre esses casos, foram necessárias as seguintes etapas:

- Abrir o arquivo DICOM da imagem original e verificar o código do paciente, o nome completo do paciente, a data de nascimento, o tipo do exame (ressonância, radiografia, etc) e o número do exame.
- De posse das informações do arquivo DICOM original, o seguinte passo foi pesquisar na base o paciente a que pertencia o exame respectivo ao número do exame contido no arquivo DICOM original. Verificou-se que o exame pertencia a um paciente diferente. Portanto existiam duas hipóteses para o ocorrido:
 - ✍ Hipótese 1: o técnico inseriu no arquivo DICOM o registro de outro paciente. Portanto efetuou-se uma consulta na base para comparar os dados do paciente da base com as informações do arquivo DICOM. Verificou-se que o registro do paciente estava correto.
 - ✍ Hipótese 2: o número do exame estava errado. Uma vez tendo certeza que o paciente estava certo, o passo seguinte foi investigar todos os exames do paciente (os números dos exames). Descobriu-se que o técnico errou ao digitar o número do exame a ser inserido no arquivo DICOM, digitando em um dos casos, ao invés de 120236-3, o valor 120235-3, e no outro caso, ao invés de digitar 120204-3, digitou 120224-3.

Nessas situações em que os exames diferiam dos adotados como base de teste, ou seja, não eram exames de Ressonância Magnética, foi possível detectar que algumas imagens haviam sido associadas incorretamente ao respectivo exame radiológico do RIS. No caso de existirem outras situações de digitação incorreta do número do exame, que coincidentemente sejam de Ressonância Magnética, essas imagens ficaram perdidas, associadas a outro exame, possivelmente de outro paciente.

Infelizmente essa situação ocorre porque a solução encontrada para vincular as imagens aos exames do Laudo Eletrônico necessita da interferência humana, portanto passível

de erro. Atualmente não tem como automatizar esse processo, fazendo com que o RIS e as modalidades se comuniquem entre si, ou seja, o RIS enviaria o número do exame gerado para a modalidade para ser inserido automaticamente, sem a interferência do técnico. Para isso seria necessário uma interface entre os equipamentos de exame e o RIS, o que hoje não é possível pois os equipamentos possuem arquitetura fechada.

Uma solução primária para evitar, no SRIS-HC, a associação incorreta das imagens com o exame radiológico no momento do armazenamento na base, seria comparar todas as informações contidas no arquivo original DICOM da imagem com as informações contidas no exame radiológico do RIS e, se pelo menos uma informação diferir (seja o registro do paciente, ou o nome, ou a data de nascimento, por exemplo), solicitar a interferência do usuário que está executando o processo, para informar a qual exame corresponde a imagem e se deseja armazená-la ou não. Sendo assim, o processo de armazenamento seria mais longo e exaustivo, porém mais garantido.

Uma vez que o objetivo desse projeto é a recuperação de imagens baseada em conteúdo, o armazenamento das imagens foi feito sem a interferência do usuário, partindo do princípio que o número de exame contido nos arquivos DICOM das imagens foi digitado corretamente.

5.4.4 Validação das Consultas entre Imagem de Referência no Formato DICOM ou no Formato GBDI

Um dos testes realizados foi a comparação do resultado das consultas quando a imagem de referência selecionada estava armazenada na base de dados e portanto, no formato gbdi e quando selecionava-se o arquivo DICOM original da mesma imagem de referência.

Nos primeiros testes realizados, fazendo consultas por similaridade de histogramas métricos, ao selecionar o arquivo DICOM original da imagem, não se encontrava nem mesmo a própria imagem. Investigando o que estava ocorrendo, foi detectado um importante fator que deve ser mencionado: para extrair o histograma métrico das imagens, é necessário informar um valor de tolerância definido arbitrariamente que, quanto menor esse valor, maior o número de *buckets* do histograma métrico. O mesmo valor deverá ser adotado obrigatoriamente, na extração do histograma métrico de todas as imagens, senão corre-se o risco de não se encontrar nada, como foi o que aconteceu. Os histogramas métricos extraídos das imagens foram calculados adotando-se um valor de 0.02 e armazenados na base de dados.

Para se fazer uma consulta tendo sido selecionado o arquivo DICOM de uma imagem de busca, é necessário abrir o arquivo DICOM da imagem, extrair a imagem e extrair a

característica da imagem a ser utilizada como vetor de busca na Slim-tree. E nesse momento, foi adotado um valor de 0.001 para a extração do histograma métrico da imagem de busca, que diferia do valor adotado na extração do histograma métrico de todas as imagens da base de dados. Sendo assim, nem mesmo a própria imagem de referência foi encontrada nas pesquisas. Portanto é extremamente importante que o valor adotado seja um valor constante e imutável no sistema, para que isso não ocorra.

Após corrigir o problema, ou seja, adotar para a imagem de busca o mesmo valor que foi utilizado na extração do histograma métrico de todas as imagens da base de dados, os resultados da validação das pesquisas utilizando-se uma imagem gbdi como referência e depois a mesma imagem no arquivo DICOM original, foram exatamente os mesmos, ou seja, utilizar como referência uma imagem armazenada na base de dados, ou um arquivo DICOM de uma imagem qualquer é indiferente. Vale salientar que, se a imagem do arquivo DICOM selecionada como referência não tiver sido armazenada na base, ela não irá fazer parte do resultado da pesquisa, pois em todas as pesquisas, a primeira imagem encontrada é sempre a própria imagem de referência, cuja distância dela à imagem de busca é zero.

5.5 Conclusões

Este capítulo apresentou a estrutura geral do sistema SRIS-HC. É importante ressaltar que o desenvolvimento de tal sistema foi norteado pelo fato do mesmo ser integrado aos demais sistemas do HCRP, bem como do fato de permitir futuras extensões ao mesmo. Por exemplo, quando novas técnicas de extração de características de imagens forem disponibilizadas no GBDI elas deverão ser integradas ao SRIS-HC. No momento técnicas baseadas em wavelets e em textura estão sendo pesquisadas e desenvolvidas.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES GERAIS E LINHAS DE FUTURAS PESQUISAS

6.1 Considerações Finais

O suporte a consultas por similaridade, onde o conteúdo das imagens é utilizado para recuperá-las e não informações numéricas ou textuais associadas às imagens, é uma poderosa ferramenta para suporte ao diagnóstico por imagens. As informações associadas (textos ou números) às imagens são fornecidas através de palavras-chave, medidas, ou procedimentos que demandam a interferência do usuário ou especialista. Já a recuperação de imagens por conteúdo, utiliza as informações inerentes da imagem e não precisa usualmente de interferência humana. Dessa forma, é um processo que pode ser feito de forma automática. As consultas por similaridade possibilitam que o médico encontre casos semelhantes ao que ele está analisando, possibilitando comparar diagnósticos e resultados anteriores. Ou seja, permite ampliar sobremaneira o conhecimento anterior fornecido por outros especialistas.

Essa dissertação apresentou um sistema de recuperação de imagens similares - SRIS-HC, que foi integrado ao Sistema de Informação Hospitalar do HC através do Sistema de Laudo, e permite que os médicos avaliem e comparem diagnósticos anteriores com os casos em estudo. É interessante ressaltar que a integração do SRIS-HC junto ao sistema de Laudo, possibilita também uma ferramenta de ensino e validação de diagnóstico médico, que pode ser utilizado pelos especialistas do HCRP, que é um hospital escola.

Para o desenvolvimento do SRIS-HC foi necessária a compreensão, integração e desenvolvimento de módulos de software de diversas áreas, tais como: um método de indexação de dados métricos (Slim-tree); um sub-sistema de extração de características, que implementa dois métodos de processamento de imagens (histograma normalizado e histograma métrico); criação da base de imagens em Oracle 8i para manter a compatibilidade com os sistemas do HCRP, e criação da interface entre os módulos.

6.2 Trabalhos Futuros

As próximas sub-seções apresentam sugestões de futuras pesquisas relacionadas à presente dissertação.

6.2.1 Integração de Outras Técnicas de Extração de Características ao SRIS-HC

As técnicas de extração de características baseadas em histograma contemplam a distribuição de brilho das imagens e, dessa forma, atuam como um filtro inicial do conjunto de imagens que possa se qualificar à consulta por similaridade. Técnicas mais avançadas, tais como wavelets ou textura podem ser incorporadas para atuarem como um processo secundário de seleção do conjunto de imagens resultantes, ou mesmo como um processo inicial, conforme desejado. O SRIS-HC já foi preparado para posterior integração de novos extratores.

6.2.2 Modificação do SRIS-HC para Utilizar a Versão em Disco da Slim-tree

Devido à limitação de tempo para a conclusão desse trabalho, e ao fato da nova versão da Slim-tree não ter sido concluída ainda, o desenvolvimento do SRIS-HC foi feito utilizando a versão atual da Slim-tree. A versão atual carrega a árvore em memória e permite que somente a árvore de um único extrator seja carregada durante a execução do sistema. Consultas utilizando outro extrator desejado devem ser feitas saindo do sistema e iniciando-o novamente. Com a nova versão da Slim-tree, a árvore dos respectivos extratores será construída uma única vez, sendo armazenada em disco. Além disso, pode haver necessidade de mais de uma árvore estar presente ao mesmo tempo, para permitir fazer consultas combinando diferentes extratores, ou seja, uma consulta inicial buscando imagens similares em histogramas métricos e, a seguir, uma consulta filtrando, dentre o conjunto resultante, as imagens similares em textura, por exemplo. Com tal funcionalidade o sistema alcançará melhores resultados.

6.2.3 Disponibilização do SRIS-HC em Ambiente de Produção e Avaliação dos Médicos

Uma vez que o SRIS-HC está rodando em ambiente de teste e não se encontra disponível por todo o hospital, um trabalho que permita disponibilizar o sistema se faz necessário. Não basta somente colocar o sistema no ar. É necessário definir as estratégias de armazenamento das imagens no banco de dados, da extração das características, do momento em que esse processo será feito, onde serão armazenadas as imagens, se em um servidor dedicado somente ao armazenamento das imagens ou no mesmo servidor de dados em uso. As configurações da rede, o tempo de resposta das consultas na rede do hospital.

6.2.4 Interface entre as Modalidades e o Sistema de Laudo Eletrônico do HCFMRP

Uma vez que a inserção manual do número do exame no arquivo DICOM das imagens pode gerar erros de digitação, ocasionando o relacionamento das imagens com exames incorretos, um trabalho futuro de grande importância seria fazer com que o RIS do HCFMRP se comunicasse diretamente com todas as modalidades do hospital, sendo responsável pela inserção automatizada do número do exame nos arquivos DICOM das imagens, garantindo assim a integridade da vinculação das imagens ao exame do RIS. Porém essa tarefa envolve talvez a troca de equipamentos, uma vez que foram adquiridos com contratos que garantem a arquitetura fechada dos equipamentos, não permitindo o acesso ao sistema neles contidos.

6.2.5 Indexação e Recuperação de Imagens Dinâmicas

Um processo crítico na indexação de vídeo baseada em conteúdo é a extração de características. A efetividade de um esquema de indexação depende da efetividade de atributos na representação do conteúdo. Um dos mais importantes tipos de característica é a característica de movimento que descreve os conteúdos dinâmicos do vídeo, fornecendo informações temporais importantes para facilmente e rapidamente acessar os vídeos. Portanto um trabalho futuro é encontrar atributos que possam caracterizar imagens de exames dinâmicos permitindo indexação e recuperação baseada em conteúdo, e possivelmente adicionar à aplicação desenvolvida SRIS-HC.

CAPÍTULO 7 - BIBLIOGRAFIA

- [Araújo_2002] Myrian R. B. Araújo, C. Traina Jr., A. J. M. Traina, J. M. Bueno, H. L. Razente, “*Extending Relational Databases to Support Content-Based Retrieval of Medical Images*”, 15th IEEE Symposium on Computer-Based Medical System (CBMS’02), Maribor, Slovenia, June 04-07, 2002, pp. 303-308.
- [Aslandogan_1999] Y. A. Aslandogan and C. T. Yu, “Techniques and systems for Image and Video Retrieval”, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol.11, Jan/Feb 1999, pp. 56-63.
- [Baeza-Yates_1994] R. A. Baeza-Yates, W. Cunto, U. Manber, S. Wu, “Proximity Matching Using Fixed Queries Trees”, 5th Annual Symp on Combinatorial Pattern Matching (CPM), Asilomar, CA, June 5-8, 1994, pp. 198-212.
- [Beckmann_1990] N. Beckmann, H.-P. Kriegel, R. Schneider, B. Seeger, B. “The R*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles”, ACM Int’l Conference on Data Management (SIGMOD), 1990, pp. 322-331.
- [Bozkaya_1997] T. Bozkaya and Z. M. Özsoyoglu, Z. M., “Distance-Based Indexing for High-Dimensional Metric Spaces”, ACM Int’l Conference on Data Management (SIGMOD), Tucson, AZ, 1997, pp. 357-368.
- [Bozkaya_1999] T. Bozkaya and Z. M. Özsoyoglu, Z. M., “Indexing Large Metric Spaces for Similarity Search Queries”, ACM Transactions on Database Systems (TODS), vol.24, September 1999, pp.361-404.
- [Brin_1995] S. Brin, “Near neighbor search in large metric spaces”, presented at Int’l Conf on Very Large Databases (VLDB), Zurich, Switzerland, 1995, pp. 574-584.
- [Brown_1992] L. G. Brown, “A Survey of Image Registration Techniques”, Acm Computing Surveys, vol. 24, 1992, pp. 325-376.

- [Bueno_2002a] Josiane M. Bueno, “*Suporte à recuperação de imagens médicas baseada em conteúdo através de histogramas métricos*”, Tese de Doutorado apresentada ao ICMC-USP, São Carlos – SP, 2002, 146 pags.
- [Bueno_2002b] Josiane M. Bueno, Fabio Chino, Agma J. M. Traina, Caetano Traina Jr., Paulo M. Avedo Marques, “*How to Add Content-based Image Retrieval Capability in a PACS*”, 15th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS’02), Maribor, Slovenia, June 04-07, 2002, pp. 321-326.
- [Caritá_2000] E. C. Caritá, P. M. A. Marques, “*Vinculação de Imagens para Busca e Visualização a Partir do Sistema de Informação em Radiologia (RIS)*”, VII Congresso Brasileiro de Informática em Saúde e do II Simpósio Internacional de Sistemas de Informação Hospitalar, São Paulo-SP, 14 a 18 de outubro de 2000.
- [Caritá_2002] E. C. Caritá, “*Vinculação de Imagens para busca e visualização a partir de Sistema de Informação em Radiologia (RIS)*”, Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (USP), 2002.
- [Castelman_1996] K.R.Castelman, Digital Image Processing: Prentice-Hall Inc., 1996.
- [Chiueh_1994] T.-C. Chiueh, “*Content-Based Image Indexing*”, Int’l Conf on Very Large Databases (VLDB), Santiago do Chile, Chile, September 12-15, 1994, pp. 582-593.
- [Ciaccia_1997a] P. Ciaccia, M. Patella, F. Rabitti, P. Zezula, “*Indexing Metric Spaces with M-tree*”, Atti del Quinto Convegno Nazionale SEBD, Verona, Italy, June 1997, pp. 67-86.
- [Ciaccia_1997b] P. Ciaccia, M. Patella, P. Zezula, “*M-tree: An efficient access method for similarity search in metric spaces*”, Intl Conf. On Very Large Databases (VLDB), Athens, Greece, September 1997, pp 426-435.
- [Ciaccia_1998] P. Ciaccia and M. Patella, “*Bulk Loading the M-tree*”, ADC Australasian Database Conference, 1998, pp. 15-26.
- [Faloutsos_1994b] C. Faloutsos and I. Kamel, “*Beyond Uniformity and Independence: Analysis of R-trees Using the Concept of Fractal Dimension*”, ACM Symp on Principles of Database Systems (PODS), Minneapolis, MN, 1994, pp. 4-13.
- [Faloutsos_1995] C. Faloutsos and K. Lin, “*FastMap: A Fast Algorithm for Indexing, Data-Mining and Visualization of Traditional and Multimedia Datasets*”, ACM Int’l Conference on Data Management (SIGMOD), Zurich, Switzerland, 1995, pp. 163-174.

- [Faloutsos_1996] C. Faloutsos, Searching Multimedia Databases by Content, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [Furuie_1999] S. S. Furuie, M. A. Gutierrez, N. B. Bertozzo, J. C. B. Figueiredo, M. Yamaguti, “Archiving and Retrieving Long-Term Cineangiographic Images in a PACS”, Computers in Radiology 1999;26:435-438.
- [Gonzalez_1993] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing: Addison-Wesley, 1993.
- [Günther_1999a] G. Günther and R. A. Bauman, “Large-Scale PAC Systems” in Filmless Radiology, E.L.Siegel and R.M.Kolodner, Eds. New York City, NY: Springer Verlag, 1999a, pp. 21.
- [Guttman_1984] A. Guttman, “R-Tree: A dynamic Index Structure for Spatial Searching”, ACM Int’l Conference on Data Management (SIGMOD), Boston, MA, 1984, pp. 47-57.
- [Hinneburg_1999a] A. Hinneburg and D. A. KEIM, “Optimal Grid-Clustering: Towards Breaking the Curse of Dimensionality in High-Dimensional Clustering”, Int’l Conf on Very Large Databases (VLDB), pp. 506-517.
- [Kruskal_1956] J. B. Kruskal, “On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem”, Proc American Math Soc, vol. 7, 1956, pp. 48-50.
- [Marques_2000a] P. M. A. Marques, A. C. Santos, J. Elias Junior, W. M. Goes, C. R. Castro, C. S. Trad, *Implantação de um Sistema de Informação em Radiologia em Hospital Universitário*, Radiol Bras 2000; 33:155-160.
- [Marques_2000b] P. M. A. Marques et al., “Projeto Ciupe – Grupo de Estudos em Sistemas para Auxílio ao Diagnóstico por Imagem”, Ribeirão Preto, Janeiro 2000. <http://cci.fmrp.usp.br>
- [Marsh_1997] A. Marsh, “EUROMED – The Creation of a Telemedical Information Society”, 10’ IEEE Symposium on Computer Based Medical Systems, Maribor, Slovenia, 1997, pp. 86-91.
- [Pagel_2000] B.-U. Pagel, F. Korn, C. Faloutsos, “Deflating the Dimensionality Curse Using Multiple Fractal Dimensions”, 16th Intl Conf on Data Engineering (ICDE2000), San Diego, CA, February 28 - March 3, 2000, pp. 589-598.
- [Pass_1996] G. Pass, R. Zabih, J. Miller, “Comparing Images Using Color Coherence Vector”, ACM Multimedia, Boston, MA, pp. 65-73.

- [Siegel_1999a] SIEGEL, E.L.; REINER, B.I., Challenges Associated with the Incorporation of Digital Radiography into a Picture Archival and Communication System – Journal of Digital Imaging, vol. 12, No 2, Suppl 1 (May), 1999: pp37.
- [Siegel_1999b] E. L. Siegel, “Current State of the Art and Future Trends”, in Filmless Radiology, E. L. Siegel and R. M. Kolodner, Eds. New York City, NY: Springer Verlag, 1999a. pp. 3-20.
- [Siegel_1999c] E. L. Siegel, and R. M. Kolodner, Filmless Radiology. New York City, NY: Springer Verlag, 1999b
- [Traina_2000] C. Traina, A. J. M. Traina, B. Seeger, C. Faloutsos, “Slim-Trees: High Performance Metric Trees Minimizing Overlap Between Nodes”, Intl Conf on Extending Database Technology, Konstanz, Germany, March 27-31, 2000, pp. 51-65.
- [Traina_2001] A. J. M. Traina, “Suporte à Visualização de Consultas por Similaridade em Imagens Médicas através de Estrutura de Indexação Métrica”, Tese de Livre Docência apresentada ao ICMC-USP, São Carlos, SP, Janeiro 2001, 105 pags.
- [Traina_2002a] C. Traina, A. J. M. Traina, B. Seeger, C. Faloutsos, “Fast Indexing and Visualization of Metric Datasets Using Slim-trees”, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 14, vol. 2, pp. 244-260, 2002.
- [Traina_2002b] Agma J. M. Traina, Caetano Traina Jr., Josiane M. Bueno, Paulo Azevedo-Marques, “The Metric Histogram: a New and Efficient Approach for Content-based Image Retrieval”, in Sixth IFIP Working Conference on Visual Database Systems, pp. 297-311, 2002.
- [Uhlmann_1991] J. K. Uhlmann, “Satisfying General Proximity/Similarity Queries with Metric Trees”, Information Processing Letter, vol. 40, November 25, 1991, pp. 175-179.
- [Valkealahti_1998] K. Valkealahti, K., E. OJA, “Reduced Multidimensional Co-Occurrence Histograms in Texture Classification”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.20, no.1, January 1998.
- [Weber_1999] R. Weber, J. Bollinger, T. Gross and H.-J. Schek; “Architecture of a networked image search and retrieval system”, Proceedings of 8th international conference on Information knowledge management, 1999, pp. 430 – 441.
- [Yianilos_1993] P. N. Yianilos, “Data Structures and Algorithms for Nearest Neighbor Search in General Metric Spaces”, presented at Fourth Annual ACM/SIGACT-SIAM Symposium on Discrete Algorithms – SODA, Austin, TX, January 25-27, 1993, pp. 311-321.

ANEXO

Alguns conceitos básicos utilizados no desenvolvimento do Sistema de Recuperação de Imagens Similares – SRIS-HC serão brevemente descritos aqui.²

1.1 Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados Relacionais

Os sistemas de gerenciamento de banco de dados evoluíram dos modelos hierárquicos para os modelos de rede e relacionais. O modelo de banco de dados mais aceito é o relacional. O Oracle o estende para um modelo relacional de objeto, o qual possibilita o armazenamento de modelos complexos de negócios em um banco de dados relacional.

O modelo relacional tem três aspectos importantes:

- Objetos distintos frequentemente possuem histogramas diferentes.
- Estruturas: são objetos bem definidos (tais como tabelas, visões, índices e assim por diante) que armazenam ou acessam os dados de um banco de dados. As estruturas e os dados contidos dentro delas podem ser manipulados pelas operações.
- Operações: são ações definidas claramente que permitem aos usuários manipularem os dados e as estruturas de um banco de dados. Elas devem obedecer um conjunto pré-definido de regras de integridade.
- Regras de integridade: são as leis que governam as operações permitidas nos dados e nas estruturas de um banco de dados. Elas protegem os dados e as estruturas de um banco de dados.

Os sistemas de gerenciamento de banco de dados relacionais oferecem benefícios como:

² Conceitos e definições retiradas do livro “Oracle 8i Internet” – Série Ramalho – Editora Berkeley 1999, São Paulo

- independência do armazenamento físico de dados e da estrutura lógica do banco de dados
- acesso diversificado e fácil a todos os dados
- flexibilidade completa no projeto de banco de dados
- armazenamento reduzido de dados e redundância.

O modelo relacional de objeto permite que os usuários definam os tipos de objeto, especificando tanto a estrutura quanto os métodos de operação nos dados e o uso desses tipos de dados dentro do modelo relacional.

Os tipos de objeto são abstrações das entidades do mundo real – por exemplo, paciente – com as quais os softwares lidam. Eles têm três tipos de componentes:

- Nome: serve para identificar o tipo de objeto
- Atributos: são tipos de dados incorporados ou definidos pelo usuário.
- Métodos: são funções ou procedimentos escritos em PL/SQL, armazenados no banco de dados, externamente ou escritos em uma linguagem como C. Os métodos implementam operações específicas que um aplicativo pode executar nos dados. Todo tipo de objeto tem um método construtor que cria um novo objeto segundo a especificação do tipo de dado.

1.2 Oracle 8i

O Oracle é uma coleção de dados tratada como uma unidade. O objetivo de um banco de dados é armazenar e recuperar as informações relacionadas. O Oracle Server é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional de um objeto constituído, além desse banco de dados, de uma instância de servidor Oracle.

Um banco de dados Oracle tem uma estrutura física e lógica. Essas estruturas são separadas no servidor, permitindo que o armazenamento físico dos dados possa ser gerenciado sem afetar o acesso às estruturas lógicas de armazenamento.

1.2.1 Estrutura física do banco de dados

A estrutura física desse tipo de banco de dados é determinada pelos arquivos do sistema operacional que o constituem. Cada banco de dados Oracle é formado por três tipos de arquivos: um ou mais arquivos de dados (*datafiles*), dois ou mais arquivos de registro *redo* e um ou mais arquivos de controle. Esses arquivos fornecem para as informações do Oracle

um armazenamento físico real.

1.2.2 Estrutura lógica do banco de dados

A estrutura lógica do Oracle é determinada por um ou mais *tablespaces* – que são espaços lógicos de armazenamento – e pelos objetos de esquema do banco de dados. Um esquema é uma coleção de objetos de banco de dados, que estão disponíveis para um usuário. Os objetos de esquema são as estruturas lógicas que se referem diretamente aos dados do banco de dados. Os objetos de esquema incluem estruturas, tais como tabelas, visões (*view*), seqüências (*sequences*), procedimentos armazenados (*stored procedure*), sinônimos, índices, agrupamentos e links de banco de dados.

As estruturas de armazenamento lógico, incluindo os *tablespaces*, os segmentos e as extensões, indicam como é usado o espaço físico de um banco de dados. Os objetos de esquema e os relacionamentos entre eles formam o projeto relacional de um banco de dados. Não há nenhum relacionamento entre um *tablespace* e um esquema. Os objetos do mesmo esquema podem estar em *tablespaces* diferentes, e um *tablespace* pode conter objetos de esquemas diferentes.

1.2.2.1 Tablespaces

Um banco de dados divide-se em unidades lógicas de armazenamento chamadas *tablespaces*, que agrupam também estruturas lógicas relacionadas. Um *tablespace* pode estar *on-line* (acessível) ou *off-line* (não acessível). Normalmente está *on-line* para que os usuários possam acessar as informações de que necessitam. Entretanto, um *tablespace* pode ficar *off-line* para tornar parte do banco de dados indisponível, permitindo, ao mesmo tempo, o acesso ao restante desse banco. Isso facilita a execução de muitas tarefas administrativas.

1.2.2.2 Tabelas

Uma tabela é a unidade básica de armazenamento no Oracle. Ela contém todos os dados armazenados em linhas e colunas que podem ser acessados pelo usuário. Cada tabela é definida com um nome e um conjunto de colunas. Cada coluna recebe um nome, um *datatype* (tal como “Char”, “Date” ou “Number”) e uma largura (que pode ser predeterminada pelo tipo de dado, como em DATE) ou escala e precisão (somente para o tipo de dado “Number”). Depois que uma tabela é criada, linhas de dados podem ser inseridas, consultadas, excluídas ou atualizadas.

Datatypes referem-se a tipos de dados que podem ser armazenados em um banco de

dados Oracle. O Oracle 8 possui vários tipos de dados prontos para uso, e permite ao usuário também criar seus próprios datatypes. Dentre os tipos de dados, podemos citar :

- *Number*: Esse tipo é usado para armazenar valores numéricos dos mais diferentes tipos, como números negativos e positivos, de tamanho fixo ou de ponto flutuante. Os números de ponto flutuante possuem precisão de 38 dígitos. A definição de um número é feita da seguinte forma: `NUMBER(p,e)`, onde `p` é a precisão de até 38 dígitos e `e` é a escala, ou seja números à direita do ponto decimal. O parâmetro `e` pode ser omitido. Nesse caso a escala é zero, ou seja, um número inteiro. Um exemplo, definindo-se um número como `NUMBER(5,2)`, este número terá a seguinte forma: 999,99.
- *Long raw*: variável do tipo raw binary com tamanho máximo de 2000 bytes. Esse tipo de campo é adequado para armazenar imagens ou sons.
- *Date*: o Oracle armazena datas no formato date. Nesse formato, o Oracle armazena o século, ano, mês, dia, hora, minuto e segundo. Todos esses dados são armazenados para cada campo do tipo *Date*. Se for informado apenas a data, a hora é gravada como 12:00 am. Se for informado apenas o tempo, a data é armazenada como dia primeiro do mês atual. O campo *date* corresponde a um data válida entre 1,4712 a.C. até 31,4712. Em algumas tabelas do SRIS-HC, como por exemplo, em `IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO`, existem campos que armazenam a data e hora em que a imagem foi armazenada (a coluna `DTA_HOR_INCLUSAO`, do tipo *date*). O armazenamento da data e hora em que foi armazenado é feito através da função `SYSDATE` do Oracle, que retorna a data e hora do servidor. Por exemplo, “`SELECT SYSDATE FROM DUAL`”. Sendo assim, é possível inserir a data nessa coluna da seguinte forma: `INSERT INTO IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO (NUM_ID_IMAGEM, DTA_HOR_INCLUSAO) VALUES (13421, SYSDATE)`, que o Oracle aceita.

No SRIS-HC foram criadas algumas tabelas, como por exemplo, a tabela de nome `IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO` (onde são armazenadas as imagens). A tabela possui 15 colunas, dentre elas as colunas de nome `NUM_ID_IMAGEM`, `NUM_EXAME`, `DIG_EXAME`, `NUM_IMAGEM`, cujos datatypes são do tipo “number” e a coluna `BLOB_IMAGEM` cujo datatype é do tipo “long raw” (conforme ilustra a Figura 50).

IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO
NUM_ID_IMAGEM: NUMBER
	NUM_EXAME: NUMBER(6)
	DIG_EXAME: NUMBER(3)
	NUM_IMAGEM: NUMBER
	NUM_LOG_IMPORTACAO: NUMBER
	VLR_ALTURA: NUMBER
	VLR_LARGURA: NUMBER
	VLR_CENTER: NUMBER(3,3)
	VLR_WIDTH: NUMBER(3,3)
	NUM_SERIE: NUMBER
	NUM_BITS_ALOCADOS: NUMBER
	NUM_BITS_ARMAZENADOS: NUMBER
	BIT MAIS SIGNIFICATIVO: NUMBER
	BLOB_IMAGEM: LONG RAW
	DTA_HOR_INCLUSAO: DATE

Figura 50 - Estrutura da tabela IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO

A coluna num_id_imagem é constituída de números distintos e sequenciais para cada imagem inserida, controlados por uma seqüência (sequence) denominada SEQ_NUM_ID_IMAGEM. É essa *sequence* que indica o próximo número sequencial. A chamada a essa seqüência é feita via um *trigger* cujo nome é TG_BI_IMAGEM_EXAME_RAD. Abaixo tem o script da criação da seqüência e do *trigger* que controla a seqüência.

Criação da seqüência:

```
CREATE SEQUENCE SEQ_NUM_ID_IMAGEM NOCACHE;
```

Corpo do trigger:

```
CREATE OR REPLACE TRIGGER TG_BI_IMAGEM_EXAME_RAD
BEFORE INSERT ON IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO
FOR EACH ROW
BEGIN
  IF :NEW.DTA_HOR_INCLUSAO IS NULL THEN
    SELECT SYSDATE
    INTO :NEW.DTA_HOR_INCLUSAO
    FROM DUAL;
  END IF;
  IF :NEW.NUM_ID_IMAGEM IS NULL THEN
    SELECT SEQ_NUM_ID_IMAGEM.NEXTVAL
    INTO :NEW.NUM_ID_IMAGEM
    FROM DUAL;
  END IF;
END;
```

1.2.2.3 Seqüências

O Oracle possui um gerador de números sequenciais em um ambiente multiusuário muito útil. Os números de seqüência são números inteiros definidos com até 38 dígitos. Um número de seqüência pode ser gerado por um comando SQL. Uma vez gerado, ele fica disponível apenas para aquela seqüência. Desta forma, se vários usuários gerarem seqüências, elas não serão vistas pelos demais. As seqüências facilitam o processo de criação de

identificadores únicos de um registro em um banco de dados. Uma sequência nada mais é do que um contador automático que é acionado toda vez que for acessado. O número gerado por ele pode ser usado para atualizar um campo do tipo número do exame ou número identificador da imagem em uma tabela, garantindo assim que não existam duas linhas com o mesmo código. Quando uma sequência é criada, ela adota alguns valores padrão que são adequados para a maioria dos casos. Uma sequência padrão tem as seguintes características:

- começa sempre a partir do número 1
- tem ordem ascendente
- é incrementada de 1.

No SRIS-HC a inserção das imagens na tabela `IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO` é controlada por uma sequência, de tal forma que cada imagem possui um número inteiro único e distinto. A chamada à sequência é feita através de um *trigger* (conforme script anteriormente descrito), embora poderia ser feita diretamente no próprio comando SQL que insere a imagem.

1.2.2.4 Triggers

Uma das maneiras mais práticas de implementar rotinas para garantir integridade de dados ou de operações é a utilização de *triggers*. *Triggers* são rotinas ou procedimentos automaticamente executados quando um comando `INSERT`, `UPDATE` ou `DELETE` é executado em uma tabela ou até mesmo em uma visão. Um *trigger* pode conter comandos SQL e PL/SQL, para serem executados como uma unidade, ou então para chamar “stored procedures”.

A diferença principal entre um *trigger* e uma *procedure* está no fato de que as *procedures* são executadas através de uma chamada feita pelo usuário, enquanto os *triggers* são acionados pelo banco de dados, executados automaticamente sem a interferência do usuário.

Por exemplo, um *trigger* existente no SRIS-HC é o que controla, na coluna `NUM_TOTAL_IMAGENS` da tabela `EXAME_RADIOLOGICO`, o total de imagens que o exame possui. A cada imagem inserida em `IMAGEM_EXAME_RADIOLOGICO` o *trigger* é acionado e irá incrementar 1 na coluna `num_total_imagens`. E a cada exclusão de uma imagem, esse mesmo *trigger* irá decrementar de 1 unidade o valor contido na coluna `num_total_imagens`.

A principal aplicação de um *trigger* é a criação de consistências e restrições de acesso ao banco de dados, assim como rotinas de segurança, tais como:

- criar o conteúdo de uma coluna derivada de outras colunas
- criar mecanismos de validação que envolvam pesquisas em múltiplas tabelas
- criar logs para registrar a utilização de uma tabela
- atualizar outras tabelas em função de inclusão ou alteração da tabela atual.

Uma característica distinta de um sistema de banco de dados relacional quando comparado com mecanismos de armazenamentos de um PACS é o particionamento de imagens em subconjuntos. Enquanto que em um PACS não existe outra maneira de armazenar informações relativas a cada imagem do que utilizando mecanismos de *tag*, em um sistema relacional é possível unir qualquer tipo de informação às imagens. Isso é obtido armazenando um conjunto de atributos junto com cada imagem armazenada. Portanto, as imagens obtidas através de um equipamento específico, para preencher requisitos de um dado exame podem ser armazenadas em uma tabela específica para o equipamento (ou exame), fornecendo uma maneira natural de selecionar as imagens desejadas através de um determinado software de aplicação médica [Araújo_2002].

Quando um banco de dados relacional é o sistema de armazenamento central de um PACS, os atributos em uma tabela replicam os valores das *tags* das imagens armazenadas no formato DICOM. Um filtro simples executado quando as imagens são armazenadas pode extrair as *tags* relevantes dos arquivos das imagens, copiando-as para os atributos da tabela. Essa operação reproduz os diretórios dos PACS atuais, mas com melhorada flexibilidade do banco de dados relacional para adicionar ou remover atributos nas tabelas. Mais ainda, essa abordagem permite que o sistema armazene imagens em qualquer formato, e não especificamente DICOM e, a informação necessária fornecida pode ser obtida durante a operação de entrada, por outras fontes, tais como formulários preenchidos pelos operadores [Araújo_2002].

Utilizar um banco de dados relacional como núcleo de um sistema de armazenamento de um PACS permite mais facilmente explorar resultados recentes de pesquisas em recuperação de imagens baseado no conteúdo [Araújo_2002].