

Arquitetura para Recuperação de Imagens Médicas Baseada em Conteúdo: Uma Ferramenta para Auxílio à Radiologia em Ambiente PACS e DICOM SR

Cristiano Albiero Berni, Jean Carlo Albiero Berni, José Antônio Trindade Borges de Costa
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Santa Maria - RS, Brasil
cberni,jeanberni,jatborgesdacosta@gmail.com

Abstract—One of the main forms of diagnosis used today corresponds to the exams performed by the analysis of medical images. Due to growing demand for this type of examination and the repetitive and manual procedure of the methods used by radiologists, the process becomes exhausting and can result in human errors. A tool that can assist the physician in formulating diagnoses is to search for similar cases to that being done, with the main function get greater safety to the radiologist in his notes. For this, was developed a modular architecture for medical content-based image retrieval as a tool to aid diagnosis. Through DICOM SR standard, used to store radiological findings and measurements - commonly from CAD - was implemented in a PACS environment, a structure that will permit the storage and query features extracted from the diagnostic images. The feature extraction from images can occur by different processing methods which, on the other hand, generate different parameters for storage and retrieval. The project was developed in partnership with a provider of solutions for PACS and the Applied Computing Laboratory of the Federal University of Santa Maria.

Keywords-medical image retrieval; content-based search; CBIR; PACS; radiology; DICOM SR;

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

Palavras-chave-recuperação de imagens médicas; busca baseada em conteúdo; CBIR; PACS; radiologia; DICOM SR;

I. INTRODUÇÃO

A radiologia ou diagnóstico por imagem é a especialidade da medicina que estuda órgãos ou estruturas do corpo humano através da utilização dos raios X que geram imagens. Essas imagens, originalmente, eram produzidas por meio de filmes radiográficos e processos químicos de revelação. Embora os raios X tenham sido descobertos no final do século XIX e sejam utilizados desde o início do século XX, a radiologia digital surgiu no final da década de 60. A primeira imagem digital foi gerada por um *scanner* de tomografia computadorizada em 1967, que, em 1971, se tornaria um protótipo [1]. Seus inventores, Godfrey Hounsfield e Allan McLeod Cormack, receberam o prêmio Nobel de medicina em 1979 [2].

Nas últimas décadas a utilização de filmes radiográficos vem sendo substituída gradativamente por tecnologias digitais. Hoje, a capacidade dos sistemas de radiologia digital, onde sensores raios X substituem filmes tradicionais, permitem obtenção, armazenamento, comunicação, visualização e análise de imagens de forma integrada e eficiente [3]. Muitos hospitais e clínicas estão aderindo às tecnologias digitais principalmente pela introdução de aplicações web, que aumentam a capacidade de comunicação e compartilhamento de informação [4]. Soluções web oferecem uma tecnologia multiplataforma que permite acesso simultâneo de diferentes lugares de forma instantânea e segura. Essas aplicações são denominadas *Picture Archiving and Communication System* (PACS) [5].

O conceito de PACS foi introduzido no início dos anos 80, tornando-se popular somente nos anos 90. Esses sistemas são responsáveis pelo gerenciamento, arquivamento, busca e recuperação das imagens digitais obtidas de equipamentos de tomografia computadorizada, ressonância magnética, ultrassonografia, medicina nuclear, endoscopia, mamografia e radiografia [5]. Imagens e relatórios são transmitidos digitalmente através do PACS. O formato universal para armazenamento e transferência de imagens médicas é o DICOM (*Digital*

Imaging and Communications in Medicine ou Comunicação de Imagens Digitais em Medicina). DICOM é um padrão desenvolvido por ACR (*American College of Radiology*) e NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) que permite a comunicação entre sistemas e equipamentos de diferentes fabricantes [6]. Ou seja, é um conjunto de normas com a finalidade de padronizar a formatação das imagens médicas.

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

A importância dos sistemas de recuperação de imagens médicas como auxílio à tomada de decisão já foi discutida por diversos autores [7], [8], [9], [10], [11], [12] e conta com propostas de implementação em software nas mais variadas arquiteturas e estruturas de banco de dados. Porém, neste trabalho, propõe-se uma abordagem baseada no próprio protocolo DICOM, utilizando um padrão para armazenamento estruturado de resultados associados aos exames, o DICOM SR (*Structured Reporting*), para suporte ao um sistema de CBIR. O DICOM SR é uma extensão oficial do DICOM que permite, de uma forma padronizada, a troca de dados estruturados e informações codificadas como relatórios médicos, medições, registro de procedimentos e resultados de CAD (*Computer-Aided Diagnosis* ou Diagnósticos Auxiliados por Computador) [13].

Através do formato DICOM SR para o armazenamento de informações extraídas da imagem que, por sua vez, darão suporte a uma estrutura de CBIR, propõe-se a arquitetura modular para recuperação de imagens médicas baseada em conteúdo que tem por finalidade auxiliar os procedimentos radiológicos em um ambiente PACS. Dentre as principais características da arquitetura ressalta-se a sua possibilidade de extensão da mesma através da implementação de novas técnicas de extração e comparação de características para um mesmo conjunto de imagens armazenadas em sistema PACS e; a utilização do padrão definido pelo protocolo DICOM que direciona os esforços de desenvolvimento do sistema para a construção de uma aplicação reutilizável. Este trabalho foi desenvolvido com o suporte da empresa Animati Computação Aplicada [14] que trabalha em parceria com o Laboratório de Computação Aplicada (LaCA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) [15].

II. IMAGENS MÉDICAS E RECUPERAÇÃO BASEADA EM CONTEÚDO

Em qualquer indicador de saúde percebe-se que os procedimentos médicos entre os indivíduos de mais de 60 anos são mais frequentes do que nas populações de outras faixas etárias [16]. Este fato, combinado com o crescimento da população e a elevação da expectativa de vida, tem resultado em um aumento significativo na utilização dos serviços de saúde, em suas diversas especialidades. Neste cenário, uma das principais formas de diagnóstico utilizadas atualmente corresponde aos exames realizados por meio da análise de imagens médicas.

Ao mesmo tempo em que a maioria dos ramos da economia aderem a novas tecnologias em vista da redução de custos e melhoria de seus produtos e serviços, na saúde, produtos e serviços estão cada vez mais caros, sem que necessariamente melhore a qualidade do processo. Uma explicação nesse aumento de valores pode ser imputada à crescente utilização dos espaços hospitalares para a instalação dos modernos e sofisticados equipamentos de exames diagnósticos [16]. Porém com o aumento do poder aquisitivo das populações de classes econômicas baixas, mais pessoas passam a ter acesso aos novos meios de diagnósticos de doenças e exames preventivos. Dessa forma, observa-se uma transferência progressiva desses procedimentos para locais fora da unidade hospitalar, resultando na criação de diversas redes de clínicas com objetivos mais específicos, desafogando assim os hospitais e atendendo melhor os pacientes.

Com o aumento gradativo desse tipo de exame, o tempo de avaliação por médicos radiologistas para cada caso está se tornando escasso. Assim, a introdução de novas tecnologias é de grande importância para viabilizar o processo de diagnóstico em larga escala e também minimizar as chances de erros durante as avaliações. Normalmente, radiologistas utilizam informações complementares para suas tomadas de decisões, como a história clínica do paciente ou resultados de outros testes [7]. Neste contexto é que tem sido introduzidos sistemas de apoio à decisão, que podem incluir a busca de imagens por conteúdo ou similaridade, cujo objetivo principal é facilitar a consulta a imagens semelhantes aos casos analisados pelos radiologistas. A busca por semelhança de distribuição de tonalidades, forma e textura dos objetos presentes na imagem podem ser utilizada em diversos tipos de análise em radiologia.

A. CBIR

CBIR tornou-se uma das áreas de pesquisa mais estudadas no campo de visão computacional nos últimos 10 anos [8]. As disponibilidades de grandes quantidades de dados multimídia e as evoluções da internet implicam na necessidade de criação de novos métodos de acesso e visualização. Existem pelo menos três grandes domínios onde a recuperação de imagens médicas pode ser útil: ensino, pesquisa e diagnóstico [8]. No primeiro, professores podem pesquisar casos de relevância nos grandes repositórios de imagens médicas e apresentar a seus alunos, elevando a qualidade do ensino. Na pesquisa, mais opções na escolha dos casos e/ou a combinação de várias fontes em

um mesmo estudo permite a criação de padrões interessantes. Por fim, o mais importante e difícil de ser implementado, é a utilização como ferramenta de auxílio a diagnósticos, onde algoritmos devem provar sua capacidade e assim serem consideradas ferramentas úteis pelos radiologistas.

Processos de tomada de decisões clínicas envolvem duas ideias principais. Uma delas é obter casos com aparência visual similar, utilizando vários casos como base para um novo estudo. A outra é a comparação de um caso novo com casos normais, ou seja, o caso inverso, também chamado de busca por dissimilaridade [8]. Um tumor ou fratura são diferentes de um caso normal, podendo ser destacado em uma determinada região da imagem onde ocorrer a maior diferença de um determinado padrão. De certa forma, o processo manual e repetitivo desses métodos torna-se exaustivo, ocasionando o surgimento de falhas humanas. Assim, nota-se a importância do desenvolvimento de ferramentas automatizadas que auxiliam na formulação de diagnósticos para cada tipo de doença patológica.

B. DICOM SR

A ideia, o desenvolvimento e a padronização de dados médicos necessitam de consistência e precisão ao representar suas informações, garantindo o deslocamento de dados e principalmente, permitindo a comunicação entre diferentes sistemas de informações. Atualmente, muitos sistemas não são baseados em padrões, prejudicando a qualidade e a eficiência na elaboração de diagnósticos e relatórios, assim como, dificultando qualquer rotina ou tarefa associado a banco de dados [17].

DICOM SR estabelece regras de como compor os documentos com informações médicas. Estes documentos podem, através de um modelo, também chamado de *template SR*, conter referências a outras instâncias DICOM como imagens, formas de áudio, regiões de interesse e outros relatórios estruturados. Também utilizam uma terminologia controlada, evitando ambiguidades da linguagem e facilitando a compreensão automática de conteúdo, pesquisas e internacionalização. O modelo SR sugere nomes ou restringe conceitos, tipos de relacionamentos, tipos de valores, e define o valor para uma determinada aplicação [18].

C. Animati PACS

O Animati PACS é um sistema para armazenamento e comunicação de imagens diagnósticas desenvolvida pela empresa Animati Computação Aplicada. O sistema implementa um DICOM SERVER em conformidade com padrões internacionais e que pode ser conectado às modalidades diagnósticas compatíveis com o protocolo DICOM. Possui funcionalidade de *query/retrieve*, para conexão com *workstations* de diagnósticos e demais equipamentos. O Animati PACS apresenta uma interface web para acesso aos exames por meio de autenticação segura de usuários e senha. Através dessa interface o usuário pode pesquisar os exames do banco de dados por meio de filtros e visualizar os resultados obtidos em lista ou em *thumbnails* (Figura 1). O PACS também prevê dois tipos

de visualizadores para imagens diagnósticas. Um é lançado dentro do mesmo navegador Internet e tem função de consulta e referência (para médicos solicitantes). O outro baixa uma aplicação *desktop* para o computador e armazena o exame análise temporariamente no repositório local - utilizado pelo médico radiologista.

Esse sistema possui uma arquitetura dinâmica e permite a adição de funcionalidades de forma simplificada. A inserção da arquitetura proposta neste trabalho ao PACS da Animati se caracteriza como uma importante contribuição ao produto e ao meio acadêmico, visto que se encontraram poucas referências de implementações que buscam resolver problema semelhante utilizando CBIR e modelos de DICOM SR [19]. Essa arquitetura também servirá como base para diferentes tipos de implementações na área de CBIR e CAD desenvolvidos no LaCA.

III. ARQUITETURA MODULAR PARA SUPORTE A CBIR

Todo o sistema (Figura 2) foi implementado utilizando linguagem de programação Java e banco de dados MySQL. Por utilizar uma arquitetura modular e com a utilização de padrões oficiais, tanto o código fonte como as tabelas do banco são facilmente instalados em qualquer ambiente de PACS, precisando apenas de acesso às tabelas com informações das imagens dos pacientes.

No PACS da Animati, os arquivos em formato binário DICOM são armazenados em um local definido como *Storage* e seus índices indexados ao banco de dados. Neste trabalho, os arquivos binários gerados a partir de um modelo SR também são indexados ao banco de dados visando desempenho nas buscas definidas pelos sistemas de CBIR.

Para adicionar novas funções de CBIR basta estender uma classe com os métodos de extrações de características, e outra classe com os métodos de como compará-las, ou seja, pesquisas com diferentes metodologias podem ser facilmente efetuadas sem a necessidade da criação de um novo ambiente. Dessa forma, novas pesquisas em processamento de imagens são focadas apenas na extração e comparação informações das imagens e não na organização das estruturas do banco de dados.

A classe que extrai as características é executada constantemente em *underground* através de rotinas definidas no *crontab* do servidor. Ao receber uma nova imagem no ambiente de PACS, ela será automaticamente identificada e terá os métodos implementados executados. Para visualizar o resultado de uma comparação, o sistema de CBIR retorna um vetor com as imagens resultados. Nesse trabalho foi adicionada uma interface no ambiente da Animati PACS para sua visualização.

IV. RESULTADOS

A arquitetura proposta é parte integrante de um projeto maior que está em andamento na empresa Animati Computação Aplicada. Até o momento da publicação do presente trabalho pode-se discutir alguns resultados parciais que foram obtidos.

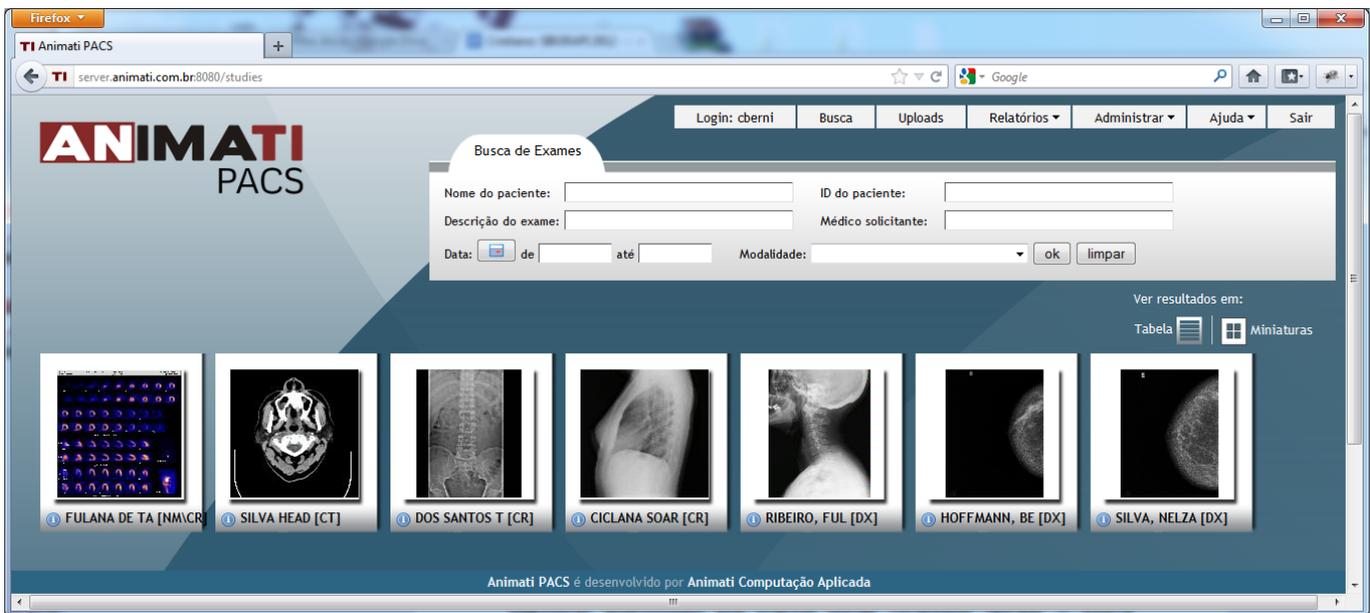


Figura 1. Interface web do Animati PACS exibindo resultado em forma de miniaturas (*thumbnails*).

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

Para provar sua estrutura funcional, foi gerado o histograma de todas as imagens e então efetuada uma busca através do somatório do módulo da diferença de cada histograma, onde n é igual ao tamanho do histograma (Equação 1). Em um banco de dados com 64 exames de tomografia (CT) pulmonar, totalizando 15716 imagens, uma comparação simples de histogramas foi retornada em menos de 6 segundos.

$$\sum_{i=0}^n |Histogram1[i] - Histogram2[i]| \quad (1)$$

Pode-se observar, com os testes realizados até o presente momento, que a arquitetura desenvolvida atinge as premissas previstas para os primeiros testes realizados. Foi possível implementar uma estrutura capaz de armazenar as informações associadas as imagens para posterior consulta e comparação, ainda, foi possível testar a inserção de um módulo de extração de características de imagens que comporta-se de forma modular, podendo ser incluído, excluído e modificado.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida uma arquitetura modular para recuperação de imagens médicas baseada em conteúdo que tem por finalidade auxiliar os procedimentos radiológicos em um ambiente PACS. Foi proposta uma abordagem baseada

no protocolo DICOM, utilizando o padrão para armazenamento estruturado de resultados associados aos exames, o DICOM SR, para suporte ao um sistema de CBIR. O trabalho foi desenvolvido com o suporte da empresa Animati Computação Aplicada que trabalha em parceria com o Laboratório de Computação Aplicada da Universidade Federal de Santa Maria.

Dentre as principais características da arquitetura pode-se destacar a sua capacidade de extensão por meio da implementação de novas técnicas de extração e comparação de características. A utilização do padrão DICOM SR aumenta as possibilidades do sistema que foi desenvolvido ser reutilizado e, dessa forma, contribui de forma significativa para a utilização e adoção de padrões pré-estabelecidos.

Como continuação do trabalho e pesquisa pretende-se implementar novos módulos de extração de características para adicioná-lo a arquitetura e, dessa forma, validar a estrutura de com mais testes relacionados. Ainda, tem-se o objetivo de aplicar a arquitetura em um ambiente real de aplicação e, assim, verificar sua eficiência e em testes mais próximos de uma utilização prática do sistema. Esse tipo de avaliação permitirá ajustar o desenvolvimento da arquitetura que foi proposta e estruturas associadas.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Blocker, "A history of digital radiography," *Ezine articles*. Acesso em maio de 2012. [Online]. Available: <http://ezinearticles.com/?A-History-of-Digital-Radiography&id=4600271>
- [2] A. M. Cormack and G. N. Hounsfield, "The nobel prize in physiology or medicine 1979," *Nobelprize.org*. Acesso em maio de 2012. [Online]. Available: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/
- [3] W. J. Chimiak, "The digital radiology environment," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 10, pp. 1133 – 1144, 1992.

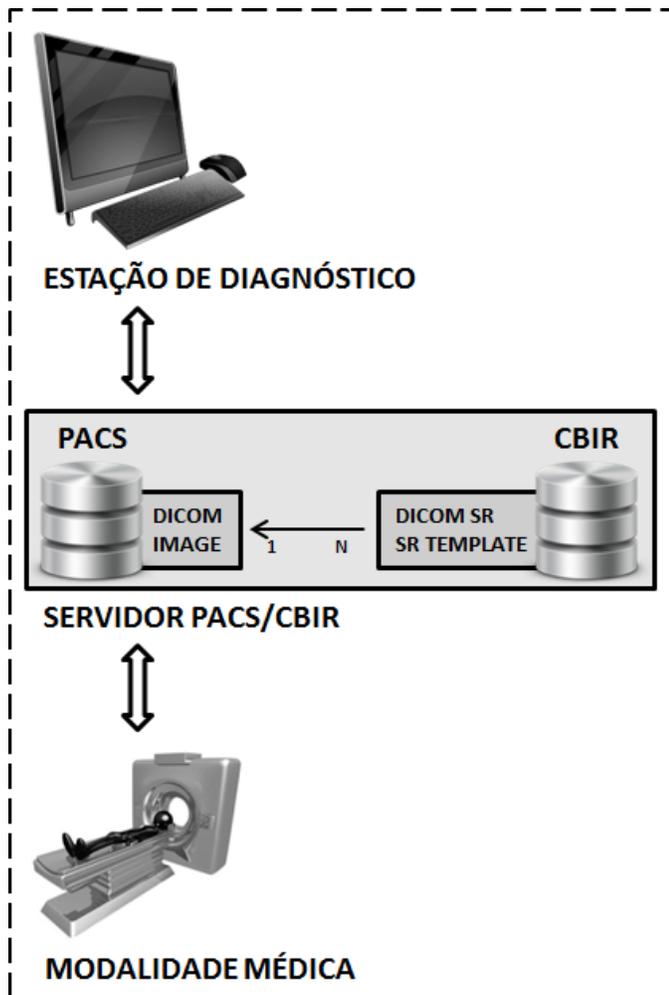


Figura 2. Arquitetura do CBIR de imagens médicas implementado em um ambiente de PACS desenvolvida pela Animati Computação Aplicada.

- [4] A. P. Palma, J. M. P. Aguilar, L. R. V. Pérez, A. L. Álvarez, J. F. R. Muñoz, O. A. N. Omaña, and M. T. Ruz, "Web based picture archiving and communication system for medical images," *2010 Ninth International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business Engineering and Science (DCABES)*, pp. 141 – 144, 2010.
- [5] X. Cao and H. K. Huang, "Current status and future advances of digital radiography and pacs," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 19, pp. 80 – 88, 2000.
- [6] P. Suapang, K. Dejhan, and S. Yimmun, "A web-based dicom-format image archive, medical image compression and dicom viewer system for teleradiology application," *Proceedings of SICE Annual Conference 2010*, pp. 3005 – 3011, 08 2010.
- [7] C. B. Akgül, D. L. Rubin, S. Napel, C. F. Beaulieu, H. Greenspan, and B. Acar, "Content-based image retrieval in radiology: Current status and future directions," *Journal of Digit Imaging*, vol. 24, p. 208Ú222, 04 2010.
- [8] H. Müller, N. Michoux, D. Bandon, and A. Geissbuhler, "A review of content-based image retrieval systems in medical applications - clinical benefits and future directions," *International Journal of Medical Informatics*, 09 2009.
- [9] M. C. Oliveira, P. M. d. Azevedo-Marques, and W. d. C. Cirne Filho, "Grades computacionais na recuperação de imagens médicas baseada em conteúdo," *Radiologia Brasileira*, vol. 40, pp. 255 – 261, 08 2007. [Online]. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-39842007000400011&nrm=iso
- [10] J. M. Bueno, A. J. M. Traina, C. Traina Jr, and P. M. Azevedo-Marques,

"cbpacs: Pacs com suporte à recuperação de imagens médicas baseada em conteúdo," *VIII Congresso Brasileiro de Informática em Saúde - CBIS 2002*, 09 2002.

- [11] M. X. Ribeiro, J. Marques, A. J. M. Traina, and C. Traina Jr, "Combatendo os pesadelos da busca por conteúdo em imagens médicas x congresso brasileiro de informática em saúde," *X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde - CBIS 2006*, 10 2006.
- [12] C. Y. V. W. da Silva and A. J. M. Traina, "Recuperação de imagens médicas por conteúdo utilizando wavelets e pca," *X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde - CBIS 2006*, 10 2006.
- [13] J. Riesmeier, M. Eichelberg, T. Wilkens, and P. Jensch, "A unified approach for the adequate visualization of structured medical reports," *Medical Imaging 2006: PACS and Imaging Informatics*, vol. 6145, 02 2006.
- [14] C. A. Animati, "Website," *Acesso em maio de 2012*. [Online]. Available: <http://www.animati.com.br>
- [15] U. F. S. M. Laboratório de Computação Aplicada, "Website," *Acesso em maio de 2012*. [Online]. Available: <http://www.ufsm.br/laca>
- [16] R. Veras, "Em busca de uma assistência adequada à saúde do idoso: revisão da literatura e aplicação de um instrumento de detecção precoce e de previsibilidade de agravos," *Cadernos de Saúde Pública*, vol. 19, pp. 705 – 715, 06 2003. [Online]. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2003000300003&nrm=iso
- [17] C. L. Barcellos Jr, A. von Wangenheim, and R. Andrade, "A reliable approach for applying dicom structured reporting in a large-scale telemedicine network," *2011 24th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, pp. 1 – 6, 2011.
- [18] M. K. Bortoluzzi, A. von Wangenheim, and K. Maximini, "A clinical report management system based upon the dicom structured report standard," *Proceedings of the 16th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems - CBMS 2003*, pp. 183 – 188, 2003.
- [19] P. Welter, T. M. Deserno, R. Gülpers, B. B. Wein, C. Grouls, and R. W. Günther, "Exemplary design of a dicom structured report template for cbir integration into radiological routine," *Medical Imaging 2010: Advanced PACS-based Imaging Informatics and Therapeutic Applications*, 02 2010.