

**Artigo Original**

Recebido em 04/11/2002 e aceito em 22/08/2003

**Prontuário eletrônico de  
pacientes: integrando informa-  
ções clínicas e imagens médicas**

*Electronic Patient Record: integrating  
clinical information and image data*

**S.S.Furuie, M.A.Gutierrez,  
J.C.B.Figueiredo, U.Tachinardi**

Instituto do Coração (InCor)  
HC-FMUSP, São Paulo

**M.S.Rebello, N.Bertozzo**

Instituto do Coração (InCor)  
HC-FMUSP, São Paulo  
Departamento de Engenharia Biomédica (DEB),  
FEEC, Unicamp, Campinas

**R.A.Moreno, G.H.M.B.Motta,  
F.B.Nardon, P.P.M.Oliveira**

Instituto do Coração (InCor)  
HC-FMUSP, São Paulo  
PTC, Departamento de Engenharia Elétrica,  
Escola Politécnica, USP, São Paulo

Autor para correspondência:  
Marina de Sá Rebello  
Instituto do Coração - Serviço de Informática  
Av. Dr. Enéas de Carvalho Aguiar, 44, 2º andar  
CEP: 05403-000, Cerqueira César - São Paulo - SP  
e-mail: marina.rebello@incor.usp.br  
tel: (11) 3069-5547

**Resumo**

O Instituto do Coração tem envidado esforços para integrar todas as informações clínicas dentro da Instituição. Nos últimos anos o InCor implementou com sucesso um sistema para transmissão, arquivamento, recuperação, processamento e visualização de Imagens Médicas e um Sistema de Informações Hospitalares (HIS) que armazena as informações administrativas e clínicas. A integração desses subsistemas forma o Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP). O InCor é um dos seis Institutos que compõem o Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo. Como cada um dos Institutos possui o seu próprio sistema de informações, a troca de informações entre os Institutos é também uma questão muito relevante. Este trabalho apresenta a experiência no desenvolvimento de um Prontuário Eletrônico funcional e completo, que inclui controle de acesso, exames laboratoriais, imagens (estáticas, dinâmicas e 3D), laudos, documentos e mesmo sinais vitais de tempo real. Este artigo também discute a modelagem e implantação de um protótipo de um PEP distribuído e homogêneo. Atualmente, um volume superior a 2,5 TB de imagens DICOM já foi armazenado utilizando a arquitetura proposta. Diariamente, o PEP armazena mais de 5GB de dados e tem uma quantidade de acessos superior a 300 usuários. O sistema de armazenamento permite uma visibilidade de seis meses para acesso imediato e mais de dois anos para acesso automático utilizando uma jukebox. **Palavras-chave:** Imagens médicas, Interoperabilidade, Modelagem, Prontuário Eletrônico.

**Abstract**

*The Heart Institute (InCor) of São Paulo has been committed to the goal of integrating all clinical information within the institution. In the last few years, InCor has successfully created a system for transmission, archiving, retrieval, processing and visualization of Medical Images and a Hospital Information System (HIS) that stores the institution administrative and clinical information. These integrated subsystems form InCor's Electronic Patient Record (EPR). Since InCor is one of the six institutes of the University of São Paulo Medical School Hospital (HC) and each institute has its own information system, exchanging information among the institutes is also a very important issue. This work describes the experience in the effort to develop a functional and comprehensive EPR, which includes access control, lab exams, images (static, dynamic and 3D), clinical reports, documents and even real-time vital signals. This paper addresses also the design and prototype for integration of distributed and heterogeneous EPR. Currently, more than 2.5 TB of DICOM images, have been stored using the proposed architecture. The EPR stores more than 5 GB/day of data and presents more than 300 hits per day. The proposed storage subsystem allow six months of visibility for rapid retrieval (online mode) and more than two years for automatic retrieval using the jukebox.*

**Keywords:** Electronic patient record, Interoperability, Medical images, Modeling.

## Extended Abstract

### Introduction

The Heart Institute (InCor) of São Paulo has been committed to the goal of integrating all clinical information within the institution. In the last few years, InCor has successfully created a system for transmission, archiving, retrieval, processing and visualization of Medical Images and a Hospital Information System (HIS) that stores the institution administrative and clinical information. These integrated subsystems form InCor's Electronic Patient Record (EPR). InCor is also facing a challenge that is becoming very common in the healthcare field: the need of exchanging information among different institutions. Since InCor is one of the six institutes of the University of São Paulo Medical School Hospital (HC) and each institute has its own information system, exchanging information among the institutes is also a very important issue. This work describes the experience in the effort to develop a functional and comprehensive EPR, which includes lab exams, images (static dynamic and 3D), clinical reports, documents and even real-time vital signals. This paper addresses also the design and prototype for integration of distributed and heterogeneous EPR.

### Material and Methods

A key point in the development is the modeling of medical images as part of the global patient information. We developed an object-oriented representation of the whole clinical image domain and its integration to the HIS. Representation of images is based on DICOM3 standard for communication and storage of medical images. This standard incorporates associated data such as identification of the patient, performed study, image acquisition context and image interpretation findings. DICOM3 standard describes a patient-oriented model that is well suited to follow all information related to a patient. However, as the main purpose of the project is to allow a higher level of complexity on searches, we expanded the model proposed on the standard in order to fulfill the requirement of retrieving medical images from any attribute (Figure 3 and 4). The new model allows the representation of different image modalities, integration of these modalities in a same study, investigation of similar images from different patients and contextual visualization and processing of clinical images.

The implementation was based on client-server architecture via Web servers connected to several databases and subsystems: HIS, image (PACS) database, document database, signal monitors and resource access decision (RAD) subsystem (Figure 2). Our PACS is based on DICOM3 standard and all image generators send their

images to our institutional DICOM servers. The DICOM servers archive the images in the storage subsystem and update the image database and HIS database.

The proposed architecture for storage combines online, nearline and offline modes in an asynchronous flow of data (Furuie et al., 2002). The flow is controlled by a managing software based on information archived in a database. The online storage is based on a RAID-5 magnetic disk system with 700GB of capacity. The access time is clinically adequate (less than 3 s) using fast networking (fast Ethernet and Gigabit Ethernet.) For the nearline storage we have used a jukebox of DLT (Digital Linear Tapes) with 48 slots and 4 drives with 3.5 TB of storage capacity. The offline storage is simply the tapes on the shelves.

### Results

Currently, more than 2.5 TB of DICOM images, have been stored using the proposed architecture. The EPR stores more than 5 GB/day of data and presents more than 300 hits per day. The proposed storage subsystem allow six months of visibility for rapid retrieval (online mode) and more than two years for automatic retrieval using the jukebox. In order to consider the confidentiality issues, we also developed a contextual role-based access control (RBAC) authorization model for the EPR that extends the proposed National Institute of Standards and Technology (NIST, USA) RBAC reference model. In addition, RBAC is consistent with the proposed Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996 (HIPAA) recommendation to regulate access to patient health information. The run-time components of contextual RBAC authorization model were implemented at InCor using Java language and the authorization model representation was stored in a hierarchical directory service (LDAP). So far 1700 users have been registered and assigned to some of 51 professional roles.

### Discussion

Implementing a comprehensive EPR is already a huge challenge that several centers in the world are pursuing. We described our experience and our vision about EPR. It includes several important and relevant pieces of information, but it is not comprehensive enough yet. Some features have not been integrated yet such as data entry and material control.

Realistically, a common patient has records in several EPRs. It is clear the importance of interoperability among distributed and heterogeneous EPR, in order to collect distributed information about a specific patient. This is a very complex issue that we are also addressing. We are proposing CORBA services such as COAS and CIAS for integration of heterogeneous and distributed systems.

## Introdução

O prontuário do paciente é o documento único constituído de um conjunto de informações registradas, geradas a partir de fatos, acontecimentos e situações sobre a saúde do paciente e a assistência prestada a ele, de caráter legal, sigiloso e científico, que possibilita a comunicação entre membros da equipe multiprofissional e a continuidade da assistência prestada ao indivíduo.' (Considerações e Diretrizes para Estabelecer a Temporalidade e Destinação dos Prontuários de Pacientes", protocolado no CFM sob o nº 2.727/2002, de 28/5/2002, GTAM – Grupo de Trabalho de Arquivos Médicos).

O médico deve manter sigilo quanto às informações confidenciais de que tiver conhecimento no desempenho de suas funções. O Mesmo se aplica ao trabalho em empresas, exceto nos casos em que seu silêncio prejudique ou ponha em risco a saúde do trabalhador ou da comunidade. (Código de Ética Médica – Conselho Federal de Medicina, Art. 11°).

Os textos acima, extraídos de documentos oficiais regulamentadores da prática médica, mostram a importância do Prontuário na prática médica, e os cuidados especiais de segurança que devem ser aplicados. Por outro lado, o conceito "...conjunto de informações registradas..." apresenta uma série de problemas: guarda, organização, controle de uso, disponibilidade, legibilidade, entre outros.

A partir do desenvolvimento de técnicas digitais de tratamento de informações clínicas, a figura do Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP) começou a se tornar uma realidade. O PEP pode ser definido como um conjunto de informações relativas ao paciente, armazenadas em formato digital e cujo objetivo principal é permitir a qualidade de atendimento, veracidade da informação e assistência médica em lugares e cenários distintos (Liu *et al.*, 2001).

A busca por um PEP eficiente e completo, tem estimulado o trabalho de diversos grupos (Grimson, 2001; Berg, 2001; Katehakis *et al.*, 2000; Cimino *et al.*, 2000; Adelhard *et al.*, 1999; Tachinardi *et al.*, 1995). As vantagens potenciais do PEP sobre o prontuário em papel envolvem o acesso, maior disponibilidade, mais rapidez na localização de informações, melhor qualidade e confiabilidade. O uso simultâneo e distribuído deste importante conjunto de informações por diversos profissionais é um atrativo adicional. A integração de dados de diferentes sistemas torna possível uma redução na necessidade de transcrições manuais, que apresentam riscos de erros significativos. A capacidade de se implantar mecanismos de controle de acesso,

sistemas de auditoria e assinaturas digitais asseguram níveis de segurança maiores do que os equivalentes em papel.

Idealmente, o Prontuário Eletrônico deve agregar todas as possíveis fontes de informação de um paciente, mesmo se a informação estiver distribuída em lugares ou mesmo países diferentes, e torná-las acessíveis às pessoas autorizadas. Existe, no entanto, uma enorme lacuna entre a definição ideal e a existência de um PEP padronizado. Sob o ponto de vista tecnológico, os sistemas de informação médica atuais são baseados em diferentes plataformas de hardware e software. Além disso, ainda não existe um modelo de dados, vocabulários e conjuntos de cenários comuns entre instituições. Espera-se que o valor e funcionalidade do PEP evoluam e acompanhem tanto as exigências em constante modificação das Instituições de Saúde quanto a evolução tecnológica das plataformas sobre as quais o sistema é construído.

Alguns avanços tecnológicos contribuíram para que algumas das barreiras presentes nas primeiras experiências descritas de prontuário eletrônico fossem vencidas, como por exemplo a universalização do uso do *World Wide Web* (Tachinardi *et al.*, 1995). Por outro lado, outras questões muito importantes vieram à tona como, por exemplo, confidencialidade de dados de Saúde em meios eletrônicos e legislação específica (Liu *et al.* 2001). No contexto de informações distribuídas, a questão da segurança passa a ter novos desafios e a ocupar um papel ainda mais importante, pois deve-se garantir a qualidade, a origem e o sigilo da informação e a possibilidade de auditorias. Na transmissão de dados de pacientes entre instituições distintas, a conectividade não é a única necessidade. A confidencialidade e a segurança dos dados são fatores com enorme importância e que devem ser implementados e regulamentados.

O Serviço de Informática do Instituto do Coração (InCor) do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo iniciou o desenvolvimento de seu prontuário eletrônico em meados da década de 90 utilizando, de forma pioneira, a *Web* como interface universal para o prontuário (Tachinardi *et al.*, 1995), pois um dos objetivos era fornecer um sistema integrado de acesso a todos os dados do paciente, com uma interface simples e padronizada. A implantação do prontuário envolveu o interfaceamento entre diferentes sistemas, como o Sistema de Informações Hospitalares (HIS) e o Sistema de Armazenamento e Transmissão de Imagens (PACS). Ao longo dos anos, novas funcionalidades foram acrescentadas ao prontuário, como a incor-

poração de documentos digitalizados (Furuie *et al.*, 2001), substituindo os equivalentes em papel, e a possibilidade de acompanhamento de sinais de monitoração de beira de leito em tempo real (Oliveira *et al.*, 2002).

O InCor é parte do complexo Hospital das Clínicas da FMUSP, que reúne ainda em seu conjunto os Institutos Central, da Criança, Instituto de Radiologia (InRad), Instituto de Ortopedia, Instituto de Psiquiatria e Hospitais satélite. A troca de informações eletrônicas entre os diferentes institutos é um dos requisitos básicos para uma otimização de processos e custos. Nesse contexto, a questão de integração de informações hospitalares passou a representar um grande desafio. Com o objetivo de propor uma arquitetura de integração de informações entre sistemas heterogêneos e distribuídos, nosso grupo uniu esforços com o InRad no desenvolvimento do projeto de "Desenvolvimento de um modelo de ambiente distribuído para transmissão, arquivamento, recuperação, processamento e visualização de imagens médicas". O projeto denominado PACS-HC modelou todas as informações relacionadas às imagens. A partir deste modelo tornou-se possível desenvolver uma estação de processamento e visualização de imagens. Entre as funções projetadas incluem-se operações como buscas complexas a partir de qualquer atributo ou informação. Na Figura 1 apresenta-se uma visão geral do projeto PACS-HC.

A recuperação e a manipulação eficiente das imagens médicas exige que as informações associadas,

como dados do paciente, procedimento realizado, laudo do exame, entre outras, estejam disponíveis e caracterizadas de forma a permitir consultas complexas, contextualizando-se, assim, a imagem sendo estudada. Em instituições de Saúde, é muito comum que estas informações estejam distribuídas em sistemas diferentes.

Existem dois problemas básicos que devem ser tratados na integração da informação em Saúde: o primeiro é um problema tecnológico, e diz respeito a como integrar sistemas distribuídos que utilizam plataformas de hardware e software heterogêneas; o segundo está em um nível mais semântico: como integrar informação que está representada de maneira completamente diferente nas diversas bases de dados envolvidas. Além destes dois problemas, deve-se considerar que a informação em Saúde é altamente complexa e pouco estruturada.

Mais do que um simples processo de intercâmbio de dados, deseja-se um grau de integração mais complexo. O grau de interoperabilidade desejado pode ser atingido através da utilização de padrões. Dentre os padrões adotados no projeto PACS-HC, alguns ocupam papel de destaque: UML (*Unified Modeling Language*) (OMG, 1996), linguagem orientada a objetos para modelagem de sistemas; DICOM (NEMA, 1996), padrão para armazenamento e transmissão de imagens médicas; Middleware CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) (OMG, 1996), padrão aberto para desenvolvimento de sistemas que utilizem

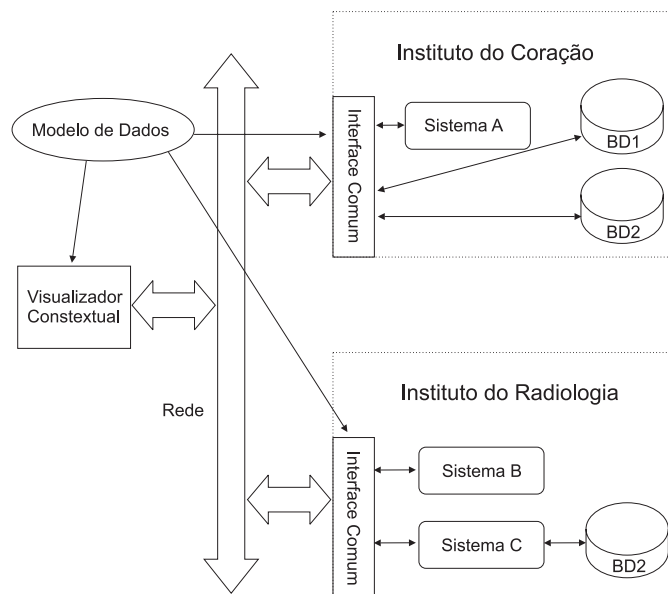


Figura 1. Esquema geral do projeto PACS-HC. **Figure 1.** General scheme of PACS-HC project.

objetos distribuídos integrados em plataformas diferentes; PIDS (*Patient Identification Service*) (OMG, 1998a), COAS (*Clinical Observation Access Service*) (OMG, 1999a) e CIAS (*Clinical Images Access Service*) (OMG, 2000a) especificações aprovadas pelo comitê CORBAMED (OMG 1999b), responsável pela padronização de serviços de software na área da Saúde.

Neste trabalho será descrita a construção do PEP do InCor e o desenvolvimento do modelo de informações clínicas distribuídas e implantação do protótipo do projeto PACS-HC.

### Implantação do prontuário eletrônico InCor

O Prontuário Eletrônico implementado no InCor é uma aplicação de visualização multimodal baseado em interface Web e disponibiliza dados demográficos dos pacientes, laudos de exames clínicos e laboratoriais, sinais vitais provenientes de monitores de beira-de-leito, imagens e documentos digitalizados.\*- Estas informações e imagens, por sua vez, provêm de diversos sistemas clínicos, também desenvolvidos no InCor (Tachinardi *et al.*, 1993). O acesso é controlado por um servidor de controle de acesso e autorização. Na Figura 2 apresenta-se a arquitetura do PEP InCor.

### Sistemas Clínicos

As informações estruturadas provêm de diversos subsistemas de informações clínicas. Os sistemas de entrada de dados utilizados são: sistemas de laboratório, sistema de laudos de procedimentos diagnósticos (imagens e sinais) e sistema de ordens médicas que inclui prescrição eletrônica, resumo de alta e evolução

clínica. Estes sistemas, exceto o de laboratório, foram desenvolvidos pela equipe do InCor. São aplicações desenvolvidas em várias linguagens (COBOL, Clipper, Magic, Oracle-Forms) que, no entanto, utilizam bancos-de-dados comuns, ou interrelacionados.

### Imagens médicas

O InCor adotou o padrão DICOM 3.0 (NEMA 1996), definido pela RSNA - *Radiology Society of North America* - para armazenamento e transmissão de imagens médicas. As imagens geradas nos diversos departamentos são enviadas para um servidor DICOM, que será descrito no item a seguir, e disponibilizadas no prontuário. No caso dos equipamentos mais antigos do hospital, que não geram imagens compatíveis com o padrão, foram implementadas soluções individuais de conversão para o formato DICOM, de tal forma que todas as imagens geradas no Hospital estejam contempladas no prontuário. Alguns equipamentos mais antigos produzem imagens compatíveis com o padrão ACR-NEMA (ACR-Nema, 1988), que é uma versão anterior do padrão DICOM, exigindo uma conversão ao novo padrão. No caso das imagens de ecocardiografia, cujos equipamentos geradores não possuem interface digital, foi desenvolvido um sistema de captura de vídeo e conversão para o formato DICOM. Atualmente, o InCor conta com os seguintes equipamentos geradores de imagens:

- 5 equipamentos de hemodinâmica: 3 compatível com DICOM e 2 ACRNema. Os últimos são convertidos para DICOM.;
- 2 equipamentos de ressonância magnética: 1 com-

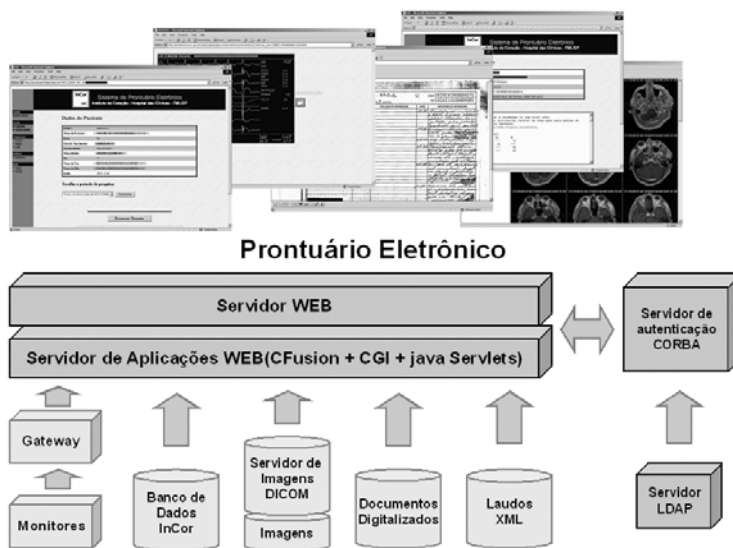


Figura 2. Arquitetura do PEP InCor. **Figure 2.** The architecture of InCor's EPR.

patível com DICOM e 1 ACRNema, com conversão para DICOM;

- 2 equipamentos de tomografia computadorizada, compatíveis com DICOM;
- 6 equipamentos de medicina nuclear, todos compatíveis com DICOM;
- 1 equipamento PET dedicado, compatível com DICOM;
- 17 equipamentos de ECO/Ultrasom. A conversão para DICOM é realizada utilizando uma placa de captura de vídeo. A integração com o PACS está em fase final de implantação.

No InCor é armazenado, diariamente, um volume de dados de imagens de 5GB.

### Servidor de Imagens DICOM

O servidor de imagens é um termo geral que pode ser designado a um número diferente de aplicações, as quais podem ser utilizadas para armazenamento e recuperação de imagens. O servidor de imagens atua como um provedor de serviços (SCP – *Service Class Provider*) e permite o armazenamento, busca e recuperação de imagens através de requisições realizadas pelas aplicações externa (SCU – *Service Class User*). Neste processo, toda a comunicação entre o SCP e as SCU ocorre através de instruções no protocolo DICOM implementadas no nível 7 (Camada de Aplicação) do modelo OSI. Toda a comunicação é realizada através da interface DICOM, que executa o seu fluxo de dados através do protocolo TCP/IP. O servidor DICOM deve, ainda, ser capaz de atualizar bancos de dados específicos, de forma a permitir que as imagens armazenadas sejam recuperadas por sistemas gerenciadores de informação do paciente.

Para a implementação do servidor, inicialmente foi adotado o conjunto de aplicações desenvolvidas para a *Radiology Society of North America (RSNA)*, através do *Mallinckrodt Institute of Radiology*, que é distribuído gratuitamente, incluindo fontes e documentação, e customizáveis para o ambiente e plataforma adotados. Foram realizadas várias modificações nos itens distribuídos pela RSNA, de tal forma que as aplicações pudessem ser executadas em vários servidores distribuídos na rede, e permitissem a conexão com o banco de dados do Sistema de Informações do InCor. Uma limitação importante do servidor RSNA era a ausência de rotinas para a comunicação e armazenamento utilizando alguma espécie de compressão, o que causava uma sobrecarga na rede e no sistema de armazenamento. Em vista dessa limitação, optou-se pelo desenvolvimento local de um novo servidor

DICOM, utilizando uma biblioteca de funções escritas na linguagem Java -JavaDicomToolkit (JDT). O novo servidor possibilita a comunicação de imagens utilizando compressão JPEG, que tipicamente reduz o volume de dados a uma razão de 3:1.

### Documentos Digitalizados

Uma componente importante das informações do paciente se apresenta (ainda) sob a forma de documentos em papel, que devem, de alguma forma ser incorporados ao Prontuário Eletrônico. Sua inclusão foi feita na forma de documentos digitalizados. A metodologia para incorporação desses dados ao Prontuário envolveu discussões que resultaram no procedimento atualmente em produção. O processo de disponibilização desses documentos no prontuário pode ser dividido em três etapas:

**Microfilmagem e digitalização:** essas etapas são realizadas por uma empresa externa. As imagens são digitalizadas a partir do microfilme e, simultaneamente, indexadas de acordo com os padrões estabelecidos no projeto. As imagens indexadas são enviadas de volta ao hospital em um CD-ROM junto com o microfilme.

**Inserção dos dados no domínio do PEP:** as imagens do CD-ROM são inseridas no repositório de imagens e a sua localização, no banco-de-dados do prontuário. As imagens são arquivadas utilizando uma estrutura de diretórios similar à proposta pelo padrão DICOM, que também é utilizado para as imagens clínicas.

**Visualização:** como as imagens são gravadas em formato TIFF, a sua visualização é feita em browsers Web.

### Monitoração em tempo real

Os dados e sinais vitais são obtidos de pacientes em unidades de terapia intensiva e centro cirúrgico sob monitorização. A inclusão desses dados ao Prontuário Eletrônico tornou-se possível graças à capacidade de comunicação com outros sistemas presentes nos monitores de última geração. Essa capacidade deve-se à incorporação de padrões de comunicação nesses equipamentos. A rede de monitorização instalada no Instituto do Coração é baseada em monitores Siemens, modelos SC7000 e SC6002XL, conectados a uma rede privada que inclui um sistema de telemetria, impressoras e estações de trabalho dedicadas (chamadas de centrais de monitorização) que permitem a visualização de dados de até 16 leitos simultaneamente. Essas centrais podem gerar e receber mensagens HL7 (Health

Level Seven, 1996), que é padrão para a troca eletrônica de informações clínicas, financeiras e administrativas entre diferentes instituições de Saúde.

Toda a comunicação entre a rede de monitores e a rede do Hospital é realizada através de um *gateway*, no qual foi implementado um servidor HL7 que recebe e envia mensagens de e para a rede de monitores. Quando uma mensagem que necessita de informações do SI é recebida, o servidor submete uma consulta ao banco de dados institucional. Uma vez que o resultado da pesquisa esteja concluído, o servidor constrói uma mensagem HL7 e a envia para a rede de monitores. Na Figura 3 apresentam-se os principais elementos envolvidos na integração dos dados de monitores.

Todos os parâmetros calculados pelo monitor e recebidos pelo *gateway* podem ser visualizados no Prontuário Eletrônico, em uma aplicação chamada de monitor virtual. O sistema permite a visualização dos dados como gráficos de tendência, utilizando um *applet* Java, a programação do envio de dados para o *e-mail*, *pager* ou telefone celular, o envio de mensagens, a partir do monitor virtual, para o monitor real. Os parâmetros calculados pelo monitor são salvos em um banco-de-dados dedicado. O volume ocupado pelos dados de um monitor diariamente é 19,44 MB.

O conjunto de todos os monitores do Hospital gera um volume total de 1,1 GB por dia.

Para a apresentação das curvas com os sinais vitais foi desenvolvido um componente utilizando uma biblioteca de funções fornecida pelo fabricante, que recupera informações dos monitores. A animação é feita de forma a reproduzir a apresentação dos sinais na tela do monitor real. O componente permite o arquivamento dos sinais em dois formatos: arquivo DICOM [7] e arquivo texto compatível com MSExcel. Os dados salvos em formato DICOM podem ser lidos e apresentados no prontuário. Neste caso, existe a possibilidade de realizar medidas de tempo e amplitude de todas as formas de onda visualizadas.

### Desafios do prontuário eletrônico distribuído

A integração de sistemas heterogêneos e distribuídos pode ser obtida com a utilização de um *middleware* que resolva os problemas de comunicação entre estes sistemas. Atualmente, a solução tecnológica mais adequada e eficiente é a utilização de *middlewares* orientados a objetos. Estes *middlewares*, além de resolverem os problemas de comunicação, permitem a utilização das facilidades da orientação a objetos para melhorar seu controle e para acrescentar novas funcionalidades através da incorporação de novos serviços ao seu me-

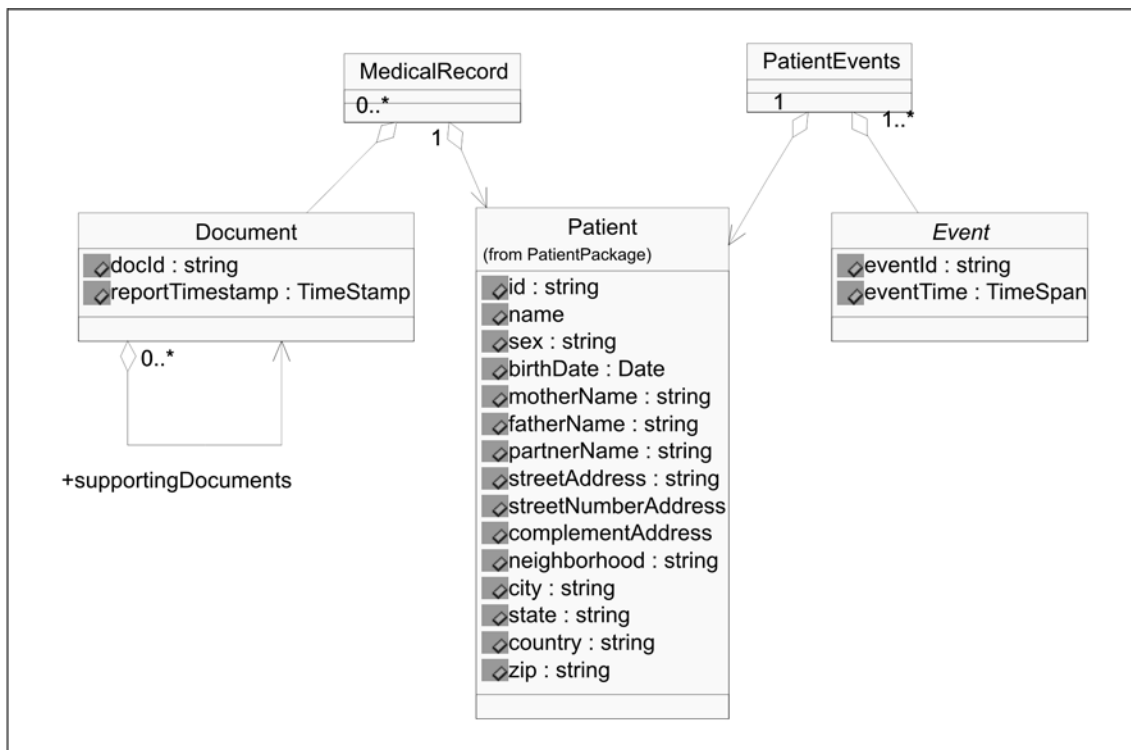


Figura 3. Visão Geral do Modelo de Informações Clínicas. **Figure 3.** Clinical Information Model.

canismo de *brokering* básico. Neste trabalho, o *middleware* orientado a objetos escolhido foi o CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) (OMG, 1996), que além de ter um excelente desempenho e de permitir a integração de uma grande variedade de ambientes heterogêneos, é um padrão aberto definido por uma organização internacional que reúne mais de 800 empresas do mundo todo, a OMG (*Object Management Group*). Entretanto, o padrão CORBA não é suficiente para tratar a troca de informações clínicas. Para esse fim, a OMG criou o comitê CORBAmed (OMG, 1999b), que é a força tarefa da OMG no domínio de Saúde e cujo objetivo é definir padrões abertos internacionais para a troca de informações entre sistemas de Saúde heterogêneos. A arquitetura para integração de sistemas heterogêneos utilizada neste trabalho foi baseada em três serviços definidos pelo CORBAmed: PIDS, COAS e CIAS. O Serviço de Identificação de Paciente (PIDS – *Patient Identification Service*) (OMG, 1998a) recupera as informações demográficas do paciente. O serviço oferece um método padrão para localizar identificadores de pessoas e seus registros associados. O Serviço de Acesso a Informações Clínicas (COAS – *Clinical Observation Access Service*) (OMG, 1999a) é um mecanismo para recuperação de dados de observações clínicas, repositórios e aplicações. O Serviço de Acesso a Imagens Clínicas (CIAS – *Clinical Images Access Service*) (OMG, 2000a) recupera imagens médicas. Este serviço permite a busca de imagens de um único paciente ou a partir das características da imagem, como parte do corpo, equipamento, modalidade, etc. Clientes do sistema, que podem estar rodando em qualquer plataforma de software e hardware, devem acessar esses serviços usando interfaces CORBA.

Além de ser heterogênea, a informação em Saúde é também muito complexa. Essa característica requer um mecanismo de representação que seja suficientemente flexível para suportar o nível de complexidade presente nos modelos em Saúde. Os modelos desenvolvidos neste projeto tentam atingir o objetivo de representar a informação em Saúde de uma maneira que seja independente da plataforma utilizada, seja ela de hardware ou software, utilizando mecanismos para modelagem de informações complexas, através da metodologia de orientação a objetos. O nível de flexibilidade oferecido pelo formalismo de orientação a objetos mostrou-se satisfatório e muito mais adequado para representação de informações complexas do que o formalismo relacional.

O modelo desenvolvido pode ser dividido em dois grandes módulos. O primeiro é o modelo de infor-

mações clínicas, que contém informações demográficas e clínicas. O segundo é o modelo de imagens, que contempla as diversas modalidades de imagens médicas, além de operações de visualização e processamento.

### Modelagem de informações clínicas

A Figura 3 mostra as classes básicas do modelo de informações clínicas. A classe *MedicalRecord* representa o conjunto dos documentos que compõem o prontuário do paciente. Cada instância da classe *MedicalRecord* possui uma associação com um e apenas um paciente. Cada instância da classe *MedicalRecord* está também associada a zero ou mais documentos médicos, que são representados pela classe *Document*. A classe *Document* foi criada para representar cada documento que faz parte do prontuário do paciente. Subclasses da classe *Document* representam um documento específico, como um laudo de raio-x, um laudo de ECG, etc. Cada documento possui uma lista de outros documentos que auxiliaram a sua criação. Por exemplo, um médico poderia utilizar informações em laudos anteriores para criar um novo documento. A classe *PatientEvents* representa a lista de eventos que ocorreram na vida de um paciente, tais como admissões, exames, cirurgias, etc. Cada instância desta classe possui uma associação com uma e apenas uma instância da classe *Patient* e com uma ou mais instâncias da classe *Event*. Através da classe *PatientEvents* é possível recuperar todo o histórico do paciente. Instâncias da classe *Event* representam eventos que podem ocorrer na vida de um paciente. O modelo de informações completo está descrito em (Nardon *et al.*, 2000). Este modelo é o ponto de partida para a criação das aplicações que permitirão a manipulação e recuperação de informações de pacientes. As classes criadas permitem recuperar informações tanto a partir de um paciente quanto a partir de informações horizontais, tais como procedimento, órgão, etc.

### Modelagem de Imagens Médicas

O modelo de informações para imagens médicas foi baseado no padrão DICOM 3 para comunicação e armazenamento de imagens médicas, especificamente na parte III do padrão “*Information Object Definitions*” (NEMA, 1996). O modelo proposto é, ainda, uma especialização do Modelo de Informações Clínicas, apresentado no item anterior. As classes representando os dados de imagens foram descritas de tal forma a permitir que operações de visualização e operações complexas de processamento sejam contempladas pelo



modelo. Isso permite que o sistema possa ser utilizado tanto por clínicos, revendo imagens de laudos como por especialistas em imagens médicas analisando e gerando laudos. O modelo permite a representação de diferentes modalidades de imagens, a integração dessas modalidades, a investigação de imagens similares de pacientes distintos e a visualização e processamento contextual de imagens médicas.

A Figura 4 apresenta o modelo proposto para a descrição de informações de imagens médicas.

A classe *Study* da Figura 4 representa um conceito global de estudo clínico. Um estudo envolvendo imagens constitui uma especialização dessa classe e suas características e atributos específicos são contemplados na classe *ImageStudy*. Esta classe pode conter um atributo do tipo *ImageStudyReport*, que é uma subclasse de *Document* do modelo de Informações Clínicas. Uma instância dessa classe pode conter um ou mais objetos do tipo *Document*, o que equivale ao

acréscimo de novas informações na forma de *Amendment*, no modelo DICOM3. A classe *Series Of Images*, por sua vez, é uma especialização da classe *PerformedProcedure*, a qual descreve os diversos procedimentos aos quais um paciente pode se submeter dentro da Instituição de Saúde. Como o principal objetivo do modelo proposto é permitir a manipulação, visualização e processamento de imagens médicas, optamos por uma descrição mais semântica do objeto imagem. Do ponto de vista de estruturação de imagens médicas, uma grande divisão que pode ser efetuada é entre dados de aquisição e dados processados. Esses dois tipos estão descritos nas classes *AcquisitionImage* e *ProcessedData*. A esses dois tipos de dados serão associadas permissões de acesso distintas para visualização e processamento. A informação de cada elemento do conjunto de dados está contida na classe *DataND*, que descreve sinais N-dimensionais. Nesta abordagem, *Overlays* e *Curvas* - compostas por

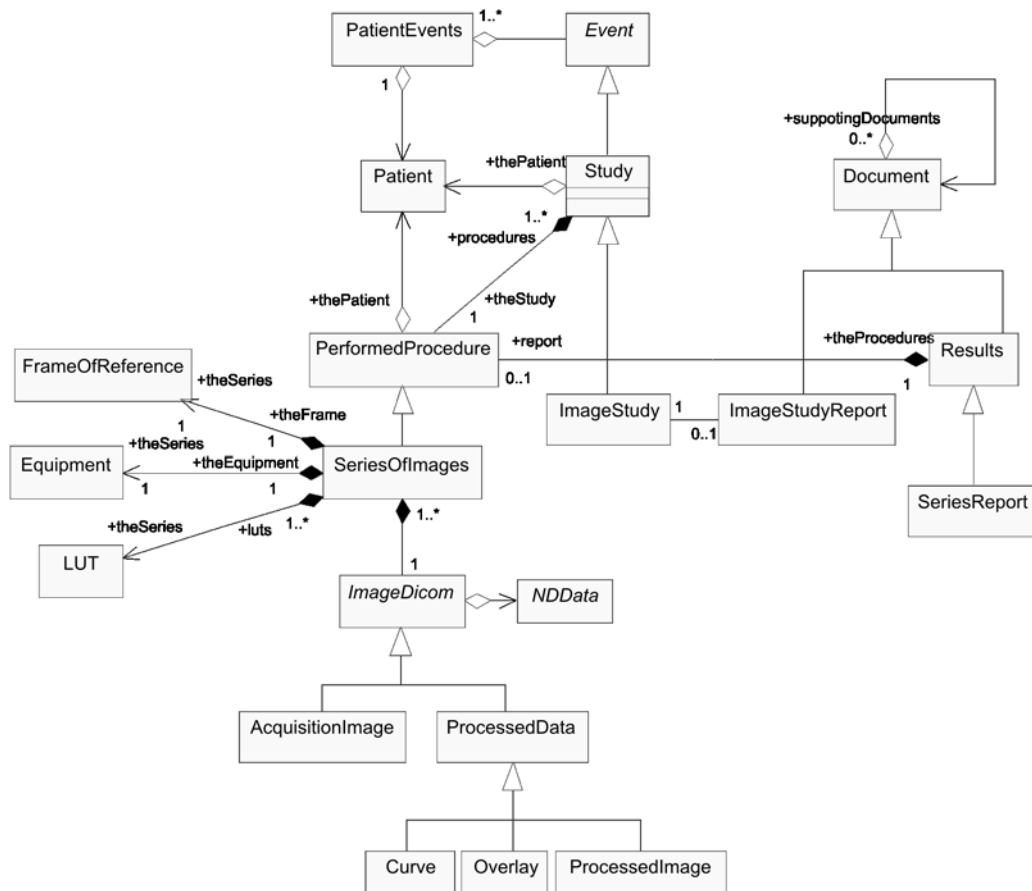


Figura 4. Modelo de informações de imagens médicas. **Figure 4.** Information model for medical images.

elementos descritos pela classe *DataND* - são considerados como dados resultantes de processamento, e constituem uma especialização da classe *ProcessedData*. Outros grupos de pesquisa também modelaram o sistema de informações do DICOM 3 de forma similar. Porém, modelo é geralmente restrito apenas às informações presentes nas imagens.

O processo de padronização para o Serviço de Acesso a Imagens Clínicas (CIAS) foi encerrado durante o período de execução do projeto. O padrão aprovado consiste de um conjunto de interfaces e estruturas de dados através dos quais um servidor pode fornecer imagens médicas a um cliente. O escopo do CIAS é prover mecanismos de acesso a informações relacionadas a imagens médicas.

O modelo proposto neste projeto contempla as funcionalidades e especificações do CIAS. No modelo proposto, entretanto, a utilização de padrões de vocabulários e códigos para representação de muitos de seus atributos é explícita. As classes relativas às informações específicas de imagens tornam-se independentes da definição desses vocabulários e códigos, e também de seu mapeamento. O modelo de imagens torna-se, desta forma, mais robusto e independente. Além disso, o modelo prevê imagens de qualquer dimensão e contempla operações de visualização e processamento.

### Serviço de autenticação e controle de acesso às informações de pacientes

Conceber modelos adequados para autorização e controle de acesso para o prontuário eletrônico é indispensável para o seu uso em larga escala em grandes instituições de Saúde. Neste projeto foi desenvolvido um modelo de autorização contextual baseado em papéis, no qual as autorizações não são associadas diretamente aos usuários, mas sim a papéis. Papéis denotam funções que descrevem a autoridade e a responsabilidade concedidas a um usuário para o qual um papel foi associado (Ferraiolo *et al.*, 2001). O uso de contextos dinâmicos permite a definição de regras de autorização baseadas em fatores dinâmicos, existentes no momento em que uma solicitação de acesso é realizada. A ferramenta que implementa o modelo proposto é chamada MACA (*Middleware* para Autorização e Controle de Acesso) (Motta e Furuie, 2003).

A arquitetura proposta para suportar o modelo proposto baseia-se num modelo cliente-servidor com três camadas. Compõe-se de um servidor de dados, responsável pelo armazenamento das autorizações, papéis, representações dos recursos protegidos e usu-

ários; de um servidor de controle de acesso e autenticação, com a incumbência de implementar o mecanismo de controle de acesso e atender às solicitações de autenticação de usuários; e de aplicações clientes no terceiro nível, que solicitam autorizações de acesso, invocam funções de autenticação e de administração de autorizações, através de uma API (*Application Programming Interface*) padronizada.

Foi adotado o serviço de decisão para acesso a recursos (*Resource Access Decision Facility: RAD - Facility*) (Beznosov *et al.*, 1999) OMG, 2000b, do CORBA *horizontal facilities* para suportar a implementação do mecanismo de controle de acesso. O RAD - *Facility* oferece interfaces padronizadas que permitem o controle de acesso detalhado, ao nível da aplicação, mas de uma forma em que a lógica do controle de acesso é separada da lógica da aplicação, com transparência em relação ao mecanismo de decisão efetivamente implementado. Oferece ainda interfaces padronizadas para a administração destas políticas de controle de acesso. A autenticação do usuário é realizada através da interface padrão para autenticação especificada no CORBA *Security Service* (OMG, 1998b). O controle de sessão dos usuários conectados é também responsabilidade deste servidor. As autorizações, papéis, representação dos recursos protegidos e usuários são armazenados em um serviço de diretórios hierarquizado, cujo acesso e esquemas de descrição de dados são padronizados através do protocolo LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*) (Yeong *et al.*, 1995), definido pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*). Por ser hierárquico e flexível, o LDAP é capaz de representar naturalmente as hierarquias de papéis e de recursos do modelo de autorização proposto. Esquemas de dados padronizados já existentes para o LDAP são usados no armazenamento de informações sobre usuários (nome de usuário, senha, *e-mail*, etc.), papéis, (nome, descrição, membros, etc.) e recursos (nome, descrição, localização, etc.). Embora conte com atributos predefinidos, o serviço de diretórios LDAP permite a definição de novos atributos, conforme o modelo que se deseje adotar. Como os atributos preexistentes não eram suficientes para representar o modelo de autorização proposto, novos esquemas foram criados com todos os atributos necessários para representá-lo. Para assegurar a funcionalidade do serviço de diretórios de maneira ininterrupta, um mecanismo de réplica automática foi implantado, totalmente transparente para o servidor de controle de acesso e autenticação. Deste modo, as alterações nas informações de usuários, papéis, recursos e autorizações

sempre são efetuadas nos dois servidores LDAP. Atualmente, o MACA é o servidor de controle de acesso utilizado em regime de rotina no prontuário InCor.

### Interoperabilidade entre sistemas heterogêneos e distribuídos

A construção de um prontuário eletrônico é uma tarefa longa e complexa. Quando o objetivo é desenvolver e instalar um tal sistema em um hospital de grande porte, o desafio é ainda maior, pois a existência de diversos sistemas legados, o volume e a complexidade de dados introduzem um grau a mais na complexidade do problema. Em diversas ocasiões, soluções mais elegantes, sob o ponto de vista tecnológico ou de projeto, são preteridas por uma solução mais pragmática, em prol da rapidez, eficiência e robustez do resultado desejado. Entretanto, as soluções adotadas devem ser sempre suficientemente flexíveis para que novas funcionalidades ou novas versões possam ser incorporadas facilmente ao sistema. Desde o início de seu desenvolvimento, o sistema de Prontuário Eletrônico do InCor foi projetado para ser escalável e modular. Assim, os conceitos presentes no modelo de prontuário eletrônico distribuído e no modelo de informações clínicas poderão ser facilmente integrados ao sistema atual.

Os objetivos do projeto PACS-HC eram criar o modelo e a infra-estrutura para a implantação do prontuário eletrônico distribuído. Como parte da infra-estrutura criada para a implantação do modelo foram implementados os serviços CORBAMED definidos na arquitetura do projeto PACS-HC. Os serviços PIDS, COAS e CIAS foram implementados utilizando a linguagem Java, JDK versão 1.2.2 (PIDS) e 1.4 (COAS e CIAS), ambiente de desenvolvimento Inprise JBuilder 5.0. Na implementação do PIDS foi utilizada a ferramenta Inprise Visibroker, versão 3.3. Na implementação do COAS e CIAS foi usado o IDLJ e ORBD do JDK 1.4.

A especificação do PIDS pressupõe a utilização de um conjunto de características que identificam o paciente e sugere dois conjuntos: HL7 (Health Level Seven, 1996) e Padrão dos cartões Visa e Mastercard. Neste projeto, optou-se por adotar um novo conjunto, mais adequado à realidade brasileira, o padrão proposto pelo Comitê de Padronização do Registro Clínico (PRC, 1999). Algumas das características suportadas pelo PRC são: Código, Nome, Data de Nascimento, Idade Aparente, Endereço, Naturalidade, Nacionalidade, Sexo, Documentos, entre outros. Foram realizadas várias experiências com o PIDS, nas quais foi

possível trocar informações com PIDS implementados por outras instituições, sem nenhuma implementação adicional e de forma bastante eficiente e confiável.

Uma vez resolvido o problema da identificação do paciente, o próximo passo para a integração das informações distribuídas entre fontes de dados heterogêneas é a implementação de um serviço capaz de recuperar as informações clínicas de um paciente. O padrão COAS define um conjunto padronizado de interfaces e de tipos de dados, através das quais se pode solicitar e/ou enviar observações clínicas, filtrar observações por diversos tipos de parâmetros, entre eles, pacientes, provedor e tipo de observação; acessar o contexto da observação clínica associada, entre outras operações. Como a definição do serviço COAS é bastante genérica, a implementação do protótipo desse serviço foi feita para um domínio restrito de uma modalidade de imagens médicas, a Medicina Nuclear. A partir do serviço COAS implementado podem ser feitas pesquisas baseadas em informações do laudo de exames dessa modalidade, utilizando diferentes atributos. As informações obtidas a partir das pesquisas são disponibilizadas em XML, que é uma forma de representação de documentos estruturados, criada pelo W3 Consortium (W3, 1998).

Para a implementação do CIAS, decidiu-se disponibilizar um banco de dados de imagens já existente através das interfaces CIAS e para isso uma cópia parcial desse banco foi construída. Esse banco é responsável pelo armazenamento de informações de imagens DICOM. As tabelas são baseadas no *Central Test Node (CTN) DICOM demonstration module* do RSNA. As imagens recebidas via servidor DICOM são gravadas em disco e os dados mais relevantes são armazenados nas tabelas, que são consultadas pelas interfaces CIAS. A especificação CIAS permite um nível de abstração bastante elevado e um nível de acoplamento muito baixo entre os dados transmitidos e as interfaces. Essa enorme flexibilidade apresenta duas faces: uma positiva, pois permite suportar as enormes diferenças de demandas entre Instituições, mas, por outro lado, representa um problema para a integração real, em nível semântico, entre os vários sistemas que vão começar a interagir. No momento, estamos trabalhando na união do CIAS com outros padrões, como o DICOM *structuring report*, que poderá permitir uma definição mais precisa das interfaces do CIAS.

Uma vez modelado o sistema e presentes todos os elementos de infra-estrutura, foi implementado um protótipo de visualizador contextual de imagens. Tes-

tes de interoperabilidade entre o Instituto do Coração e o Instituto de Radiologia do HCFMUSP, utilizando o visualizador, têm sido realizados com pleno êxito.

### Conclusões

Neste trabalho foram apresentados diversos aspectos do desenvolvimento e implantação do prontuário eletrônico no InCor, desde a etapa de adequação de infra-estrutura, servidores de imagens e o desenvolvimento de aplicações cliente. O prontuário eletrônico do InCor é hoje utilizado rotineiramente para consulta às informações clínicas dos pacientes pela equipe médica e também como ferramenta padrão em procedimentos de diagnóstico, como a análise de exames de cine-angiocoronariografia e a visualização de sinais vitais, em tempo real, dos pacientes internados.

Foram também apresentadas as etapas para a construção de um ambiente distribuído e heterogêneo para visualização de imagens médicas. O modelo para informações clínicas desenvolvido neste projeto foi discutido em detalhes, e será base para a construção de uma infra-estrutura que permitirá a implementação efetiva de troca de informações clínicas em um ambiente distribuído. Embora o objetivo inicial fosse a modelagem de dados de imagens médicas, o modelo e a infra-estrutura construídos são mais amplos e permitem a representação e manipulação de qualquer tipo de dado ou documento médico.

A infra-estrutura tecnológica para a existência de uma conectividade real na área da Saúde já existe, resta agora a implantação de modelos e métodos que permitam a interoperabilidade de informações. O InCor, assim como outras instituições de Saúde em todo o mundo, está investindo esforços, tempo e recursos na infra-estrutura de informação em Saúde, pois transformar o enorme volume de dados existentes nas Instituições em informação recuperável e que possa ser distribuída para outras Instituições é essencial, tanto para redução de custos, como para a melhoria da qualidade do atendimento.

### Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem à FAPESP, FINEP, CNPq e à Fundação Zerbini pelo auxílio financeiro.

### Referências

ACR-NEMA (1988), American College of Radiology, National Electrical Manufacturer Association, *ACR-NEMA Digital imaging and communication standard: version 2.0*, NEMA standards publication n 300-1988.

- Adelhard, K Holzel, D., Uberla, K. (1999), "Design elements for a computerized patient record", *Methods of Information in Medicine*, v. 38, p. 187-193.
- Berg, M. (2001), "Implementing information systems in health care organizations: myths and challenges", *International Journal of Medical Informatics*, v. 64, p. 143-156.
- Beznosov, K., Deng, Y., Blakley, B.; Burt, C., Barkley, J. (1999) "A Resource Access Decision Service for CORBA-based Distributed Systems", *Proceedings of the 15th Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC '99)*, p. 310-319.
- Cimino, J.J., Li, J., Mendonca, E.A. (2000), "An Evaluation of Patient Access to Their Electronic Medical Records via the World Wide Web", *Proceedings of the 2000 AMIA Annual Fall Symposium [Journal of American Medical Informatics Association Supplement]*, November, p. 151-155.
- Grimson J. (2001) "Delivering the electronic healthcare record for the 21<sup>st</sup> century", *International Journal of Medical Informatics*, v. 64, p. 111-127.
- Ferraiolo, D.F., Sandhu, R., Gravila, D., Kuhn D.R., Chandramouli R. (2001) "Proposed NIST standard for role-based access control", *ACM Transactions on Information and System Security*, v. 4, p. 224-274.
- Furuie, S.S., Tachinardi, U., Bertozzo, N., Gazetta, M., Ramos, J.A., Teixeira, J.C. (2001), "Digitized Paper-Based Medical Records as Part of a HIS/PACS", *Radiology*, p. 221 (P) Fascículo: suppl. RSNA 2001:761.
- Furuie, S.S., Bertozzo, N., Yamaguti, M., Gutierrez, M.A. (2002), "A Flexible Storage Architecture For Large PACS", *IEEE Computers in Cardiology*, September, p. 22-25, 2002, Memphis, USA
- Health Level Seven (1996) *HL7 Version 2.3 Specification*. 1996. JDT *JavaDicomToolkit*, In: <http://www.softlink.be/>.
- Katehakis, D., Lelis, P., Karabela. E., Tsiknakis, M., Orphanoudakis, S: (2000), "An Environment for the Creation of an Integrated Electronic Health Record in HYGEIAnet, the Regional Health Telematics Network of Crete", *Toward an Electronic Patient Record (TEPR'2000) Proceedings*, San Francisco, CA, May 9-11, 2000, v. 1, p. 89-98.
- Liu, G.C., Cooper, J.G., Schoeffler, K.M., Hammond E. (2001). "Standards for the Electronic Health Record Emerging from Health Care's Tower of Babel". *Proceedings of AMIA Annual Symposium 2001*, p. 388 - 392.
- Motta, G.H.M.B., Furuie, S.S. (2003) "A Contextual Role-Based Access Control Model for Electronic Patient Record", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, v. 7, n. 3, p. 202-207.
- Nardon, F.B.; Rebello, M.S., Furuie, S.S., Moura, L. (2000), "Modeling the Electronic Patient Record- The Heart Institute of São Paulo Case", *Toward an Electronic Patient Record (TEPR'2000) Proceedings*, San Francisco, CA, May 9-11, 2000, v. 1, p. 150 164.
- NEMA (1996), National Electrical Manufacturers' Association. *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. Rosslyn, Va: NEMA, 1996; PS 3.1-1996-3.13.
- Oliveira, JR P.P.M, Rebello, M.S., Pilon P.E., Gutierrez M.A., Tachinardi U. (2002), "vMon-mobile provides wireless connection to the electronic patient record", *Proceedings of SPIE*, v. 4685, p. 438-445.

- OMG (1996), Object Management Group, *Manual 1996*, In: <http://www.omg.org>.
- OMG (1998a), *Person/Patient Identification Service*, February, In: <http://www.omg.org/pub/docs/corbamed/96-11-02.rtf>.
- OMG (1998b), Group. *CORBA Security Service Specification*. In: <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/98-12-17>
- OMG (1999a), *Clinical Observation Access Service Final*, In: <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?corbamed/99-03-25>.
- OMG (1999b), (1999). *CORBAmed: Healthcare Domain Specifications*, In: <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/99-03-01.pdf>.
- OMG (2000a), *Clinical Image Access Service Revised Submission*, In: <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?corbamed/00-02-01>.
- OMG (2000b), *Resource Access Decision Facility*. In: <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?dtd/00-08-06>.
- PRC (1999) Comitê de Padronização do Registro Clínico. "Conjunto Essencial de Informações do Prontuário para Integração da Informação em Saúde". *Documento PRC: PRC-1999-11-12*.
- Tachinardi, U., Furuie, S.S., Bertozzo, N., Moura, L., Gutierrez, M.A., Melo, C.P. (1995), "Hypermedia patient data retrieval and presentation through www", *Proc. of 19th Symposium on Computer Applications in Medical Care*, p. 551-555.
- Tachinardi, U., Gutierrez, M.A., Moura, L.A., Melo, C.P. (1993), "Integrating Hospital Information Systems. The challenges and advantages of (re-)starting now", *Proceedings of the 17th Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care.*, p. 84-87, 1993.
- Yeong, W.; Howes, T., Kille, S. (1995) *Lightweight Directory Access Protocol*. Internet Engineering Task Force – IETF, In: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1777.txt?number=1777>.
- W3 Consortium. (1998). Extensible Markup Language (XML) 1.0. February, 1998, In: <http://www.w3.org/TR/1998/REC-xml-19980210>

