

DICOMFLOW: INFRAESTRUTURA ASSÍNCRONA, ASSIMÉTRICA, DESCENTRALIZADA PARA DISTRIBUIÇÃO DE IMAGENS MÉDICAS

DICOMFLOW: ASYNCHRONOUS, ASYMMETRICAL, DECENTRALIZED INFRASTRUCTURE FOR DISTRIBUTION OF MEDICAL IMAGES

Juracy R. Lucena-Neto¹, Herson H. B. Damasceno¹, Denys A. B. Silva¹,
Danilo A. B. Araújo¹, Gustavo H. M. B. Motta¹

¹Programa de Pós-Graduação em Informática, Centro de Informática,
Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, Brasil

Resumo: Os avanços das tecnologias de informação e comunicação proporcionam as condições para formar uma infraestrutura para distribuição de imagens médicas em larga escala. Entretanto, mesmo considerando a grande base instalada PACS/DICOM, não se observa a formação de uma infraestrutura comum para troca de imagens médicas entre entidades de saúde. **Objetivo:** Propor o DICOMFLOW, uma infraestrutura assíncrona, assimétrica e descentralizada para distribuição de imagens médicas, construída sobre a base instalada. **Método:** Especificou-se um protocolo para troca de mensagens e transmissão de imagens médicas e construiu-se um modelo arquitetural em duas camadas. **Resultado:** Três experimentos foram realizados para avaliar preliminarmente a infraestrutura quanto a sua viabilidade técnica e operacional. **Conclusão:** O DICOMFLOW possibilita a troca de imagens entre profissionais e organizações de saúde quaisquer, desde que pertençam à base instalada, fomentando a formação de uma infraestrutura de informação para distribuição de imagens médicas.

Palavras-chave: Telerradiologia, Integração de Sistemas, Informática Médica.

Abstract: Advances in information and communication technologies have provided the conditions for the formation of an infrastructure for medical images distribution on a large scale. However, even considering the large PACS/DICOM installed base, it is not observed the formation of a common infrastructure for the exchange of medical images between health organizations. **Objective:** To propose DICOMFLOW, an asynchronous, asymmetric, and decentralized infrastructure for distribution of medical images, built on the installed base. **Method:** A protocol for messaging and transmission of medical images was specified and an architectural model in two layers was built. **Results:** Three experiments were carried out to evaluate preliminarily the proposed infrastructure with respect to its technical and operational feasibility. **Conclusion:** DICOMFLOW enables the exchange of images between any health professionals and organizations, provided that they belong to the installed base, fostering the emergence of an information infrastructure for distribution of medical images.

Keywords: Teleradiology, Systems Integration, Medical Informatics.

Introdução

Os consideráveis avanços das tecnologias de informação e comunicação nas últimas décadas proporcionaram as condições técnicas para formação de uma infraestrutura para distribuição de estudos de imagens médicas em larga escala. Entretanto, mesmo considerando a grande base instalada PACS¹/DICOM² nos departamentos de radiologia, não se observa a formação de uma infraestrutura comum para troca de imagens médicas entre instituições e também com profissionais de saúde³. A ausência

de uma infraestrutura comum leva ao estabelecimento de acordos bilaterais entre as partes, caracterizados pela adoção de soluções *ad hoc* de integração⁴, em geral baseadas em redes privadas virtuais e computação na nuvem.

Redes privadas virtuais, por requererem configurações ponto-a-ponto, não são escaláveis, não se prestando, portanto, para estabelecer um meio comum para troca de estudos de imagens entre múltiplas partes⁵. Por outro lado, soluções baseadas em computação na nuvem^{5,6,7,8} dependem de elementos centrais, por exemplo, para fins de armazenamento ou de comunicação (e.g., uso de *brokers*). Ademais, mesmo considerando as vantagens de permitir acesso a dados e serviços com um mínimo de infraestrutura pelos clientes, a computação em nuvem traz os riscos da dependência de um único provedor, aliada a questões de segurança de dados, privacidade e disponibilidade. Soluções^{9,10} baseadas nos padrões de integração IHE XDS-I¹¹ e XCA-I¹² para compartilhamento de imagens entre múltiplas partes também pressupõem autoridade ou elementos centrais, seja para coordenação, controle ou operação. Como exemplo de solução que prescinde de autoridade ou elementos centrais, tem-se o DICOM e-mail¹³, uma infraestrutura apoiada pela Sociedade Alemã de Radiologia que distribui estudos de imagens utilizando a base instalada de e-mail da Internet. Embora bem-sucedido, integrando o *work-flow* radiológico de mais de 240 instituições no país, trafegando no ano de 2013 cerca de 2.500.000 imagens apenas no Hospital da Universidade de Mannheim¹⁴, o DICOM e-mail tem como desvantagem o recebimento compulsório de grandes volumes de dados de imagem como anexos de e-mail.

Visando contribuir para solução dos problemas apresentados anteriormente, este trabalho propõe o DICOMFLOW, uma infraestrutura assíncrona, assimétrica e descentralizada para distribuição de estudos de imagens médicas. O modelo arquitetural do DICOMFLOW¹⁵ baseou-se no conceito de infraestrutura de informação (II), que se caracteriza como uma infraestrutura compartilhada, aberta e construída sobre uma base instalada, formando um espaço social onde pessoas, organizações e componentes tecnológicos podem espontaneamente formar associações para desenvolver alguma atividade^{16,17}. Por compartilhada entende-se uma II como um bem comum, não pertencendo a uma única empresa ou organização¹⁶. Entende-se por aberta a capacidade da II incluir um número crescente de entidades (pessoas, organizações, componentes tecnológicos), participando como usuários ou desenvolvedores da infraestrutura¹⁷. Base instalada refere-se a uma infraestrutura preexistente sobre a qual uma nova infraestrutura é formada. O compartilhamento e a abertura, sobre uma base instalada, portanto, resultam numa crescente heterogeneidade técnica e social¹⁷.

A base instalada sobre a qual o DICOMFLOW se apoia é formada pela infraestrutura PACS/DICOM dos departamentos de radiologia e a infraestrutura de e-mail da Internet. Da primeira aproveita-se o amplo uso do protocolo DICOM como padrão de comunicação e armazenamento. Entretanto, é preciso contornar a limitação da tecnologia PACS/DICOM ter sido projetada em um contexto de redes locais, entre meados dos anos 80 e 90¹, fato que torna inexecutável a transmissão de exames de imagem com o protocolo DICOM via Internet, tanto pela presença de *firewalls*, dentre outras questões de segurança, quanto pelo *overhead*. A ideia, portanto, foi apoiar-se na infraestrutura de e-mail da Internet para trocar mensagens de um protocolo com suporte a serviços de gerência de exames de imagens DICOM. Assim, usufrui-se da natureza essencialmente assíncrona e descentralizada da infraestrutura de e-mail na Internet, que possui elevada conectividade, capaz, na prática, de trocar mensagens entre uma ampla variedade de entidades de forma segura (com confidencialidade, integridade e autenticidade). O enfoque assimétrico do DICOMFLOW contorna o problema do recebimento compulsório dos dados de imagens como anexos de e-mail, caso do DICOM e-mail¹³. No DICOMFLOW, utiliza-se o e-mail para notificar o receptor da disponibilidade de um exame para realizar alguma ação (e.g., arquivar, emitir laudo), incluindo-se informações de acesso (e.g., URL e credencial de acesso temporário). O receptor resgata o exame via protocolo de transmissão de conteúdo (e.g. HTTP/REST) segundo requisitos de segurança parte a parte. Ou seja, a assimetria dá a opção para o receptor resgatar o exame imediatamente ou num momento posterior.

O restante do trabalho está organizado como segue. A próxima seção traz um resumo do modelo arquitetural do DICOMFLOW, seguida da seção que descreve o protocolo de serviços da infraestrutura. Na sequência, vem a seção que ilustra cenários de uso para a infraestrutura, seguida das seções que descrevem experimentos preliminares e os resultados, respectivamente. Por fim, a última seção traz a discussão e conclusão do trabalho.



Figura 1 – Modelo Arquitetural

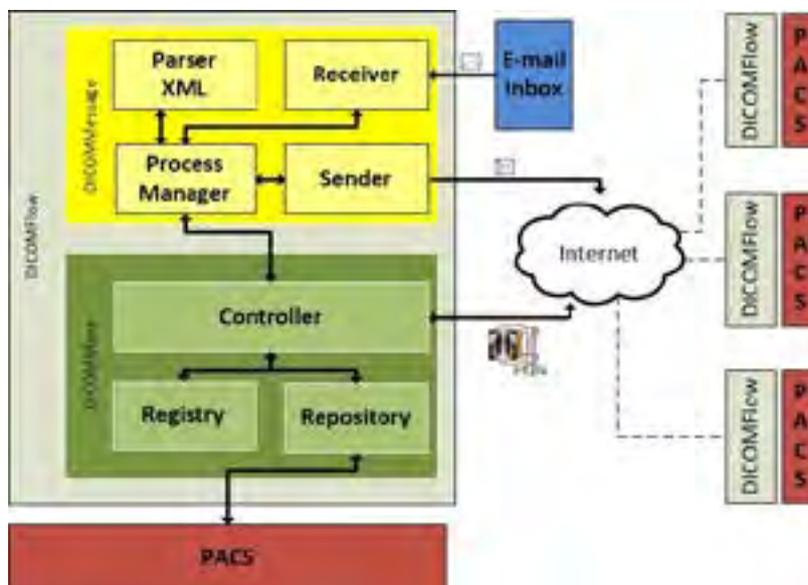


Figura 2 – Módulos e camadas do DICOMFLOW

Modelo Arquitetural

O modelo arquitetural do DICOMFLOW foi projetado em duas camadas (Figura 1). A camada DICOMMessage é responsável pela troca entre as partes de mensagens do protocolo de serviços (apresentado na próxima seção). A camada DICOMMove é encarregada da efetiva transferência dos exames de imagem através da Internet.

O protocolo de serviços está implementado na camada DICOMMessage e utiliza os protocolos de troca de e-mails SMTP (Service Mail Transfer Protocol) e IMAP (Internet Message Access Protocol) para comunicar suas mensagens entre as partes. Assim, aproveita-se a elevada conectividade e a natureza descentralizada da base instalada da infraestrutura de e-mail na Internet para fins de comunicação assíncrona. As requisições/respostas de serviços são enviadas através de mensagens em formato XML (eXtensible Markup Language - www.w3.org/standards/xml) codificadas de acordo com o padrão de segurança PGP (Pretty Good Privacy - www.pgpi.org) para fins de confidencialidade, integridade e autenticidade. A organização dos módulos da camada DICOMMessage pode ser vista na Figura 2. O módulo **Process Manager** coordena o fluxo de envio e recebimento de mensagens e o fluxo de configuração dos serviços. O módulo **ParserXML** padroniza as informações em serviços XML e os módulos **Sender** e **Receiver** enviam e recebem mensagens via e-mail, respectivamente.

A camada DICOMMove (Figura 1) utiliza o perfil de integração XDS-I¹¹ para localizar e indexar localmente estudos de imagem, não adotando a ideia de registro centralizado para recuperação de estudos entre organizações distintas. Isso porque, no DICOMFLOW, organizações trocam metadados através mensagens de serviços enviadas por e-mail pela camada DICOMMessage.

Os estudos são transmitidos usando a tecnologia HTTP/REST¹⁸, com a segurança da comunicação provida pelo protocolo TLS (Transport Layer Security), para garantir confidencialidade, integridade

e autenticidade na transmissão do estudo da origem até o destino. A implementação do mecanismo de controle acesso aos exames de imagem baseia-se na documentação da Amazon Web Services (AWS) para solicitações de autenticação com REST¹⁹. Ademais, as imagens são transportadas compactadas, por exemplo, utilizando o algoritmo de compressão sem perdas DEFLATE, com base no algoritmo L77, simples de implementar e largamente utilizado.

A camada DICOMMove (Figura 1) é implementada na linguagem JAVA para Internet (J2EE), que suporta a tecnologia HTTP/REST. Isso permite que estudos de imagem sejam acessados através de URLs, ou seja, cada URL contém as informações necessárias para se alcançar e resgatar um estudo (localização e credenciais de acesso). O gerenciamento do armazenamento de metadados é realizado com a tecnologia Hibernate (hibernate.org) e o acesso local a exames é efetuado via DICOM utilizando a plataforma de gerência de imagens DCM4CHEE (www.dcm4che.org). Os módulos do DICOMMove (Figura 2) são os seguintes: **Controller**, coordena as atividades da camada, que incluem a monitoração da chegada de novos exames no PACS, o registro dessa chegada e a respectiva sinalização à camada superior para envio de mensagens. Também é responsável pela entrega dos exames via HTTP/REST; **Repository**, monitora efetivamente a estrutura PACS e acessa exames requisitados; e **Registry**, armazena metadados e responde consultas sobre exames.

Nota-se que o modelo proposto é assimétrico porque o meio para comunicação de mensagens do protocolo de serviço de gerência de estudos de imagens (e-mail) é distinto daquele usado para transferir efetivamente as imagens (HTTP/REST). Ademais, o DICOMFLOW atua como um *gateway*¹⁷ entre a base instalada PACS/DICOM e a Internet, capaz de interpretar informações DICOM para retransmiti-las na Internet via protocolos aceitos pelas políticas de segurança implementadas em *firewalls*¹⁵.

Protocolo de Serviços

O DICOMFLOW foi construído tendo por base um protocolo de suporte a serviços de gerência de exames de imagens DICOM que aproveita a natureza assíncrona e descentralizado do SMTP, visando a formação de uma infraestrutura que favoreça a associação de entidades em domínios distintos para troca de imagens. O DICOM e-mail¹³, na Alemanha, também adota protocolos de e-mail para transmissão de estudos de imagens médicas. Um dos resultados dessa iniciativa foi um documento da Sociedade Alemã de Radiologia recomendando um protocolo padrão de comunicação para telerradiologia baseado nos protocolos de e-mail da Internet²⁰.

O protocolo aqui proposto se orienta nessa recomendação de padrão, contudo suas especificações diferem das do DICOM e-mail porque dados brutos de imagens não são transmitidos em mensagens como anexos de e-mail, mas apenas metadados e outros tipos de informações clínicas (e.g., dados demográficos, laudos). Tal abordagem é vantajosa por prescindir da aplicação de mecanismos de fragmentação/desfragmentação de imagens para empacotamento em diversas mensagens ou mecanismos para garantir entrega e ordenação de mensagens. Assim, ganha-se em performance e confiabilidade. Ademais, não exige a manutenção de uma conexão ativa durante a troca de mensagens, dada a natureza assíncrona do e-mail.

O protocolo especifica um conjunto de serviços básicos de descrição clara e de fácil implementação, capaz de dotar a infraestrutura de maior capacidade de adaptação porque possibilita a definição de novos serviços a partir da composição de serviços mais simples. Os serviços especificam ações, ou seja, carregam informações das atividades que devem ser efetuadas pelo receptor da mensagem. Por exemplo, o serviço de armazenamento (**Storage**) possui uma ação de arquivamento (**Save**) para requisitar que um novo estudo seja arquivado pelo receptor da mensagem. As informações dos serviços e suas ações são estruturadas em linguagem de marcação XML e carregadas no corpo do e-mail, protegidas segundo o padrão PGP. A Figura 3 mostra um exemplo de mensagem enviada. Informações

dos serviços que não requerem proteção são trafegadas também no cabeçalho do e-mail para melhoria do desempenho. Por exemplo, o título do serviço e a ação requisitada estão presentes no cabeçalho para facilitar ao receptor identificar rapidamente a intenção da mensagem.



Figura 3 – E-mail do serviço de Storage-Save

Inicialmente, foram analisados e levantados os principais dados envolvidos nas atividades presentes no *workflow* radiológico e, de posse dessas informações, foram definidos os seguintes serviços (Tabela 1): **Storage**, responsável pela comunicação de requisições de transferência de estudos de imagens para arquivamento permanente em uma ou mais entidades externas àquela que os originou, assim como por comunicar os resultados obtidos do atendimento às requisições. **Sharing**, responsável por sinalizar aos interessados a existência e localização de novos estudos de imagens e por comunicar respostas a essas sinalizações. **Request**, permite ao originador de um estudo requisitar a uma entidade externa (geralmente médicos radiologistas ou serviços de processamento) a realização de alguma operação tendo por base o estudo original, por exemplo, produzir e retornar um laudo. **Discovery**, possibilita ao originador da mensagem descobrir se um determinado serviço (ou conjunto de serviços) pode ser atendido por uma entidade qualquer.

Tabela 1 – Serviços do DICOMFLOW e suas principais ações.

Serviço	Ação	Descrição
Storage	Save	Requisição de armazenamento de estudo.
	Result	Resultado da operação de armazenamento.
Sharing	Put	Sinalização de estudo disponível para compartilhamento.
	Result	Resultado informando registro de metadados de compartilhamento.
Request	Put	Requisição para realizar operação em um estudo (e.g. laudo).
	Result	Resultado da ação (e.g. laudo efetuado e retornado ao requisitante).
Discovery	VerifyServices	Requisição das listas de serviços disponíveis.
	VerifyResult	Resultado contendo a lista de serviços.

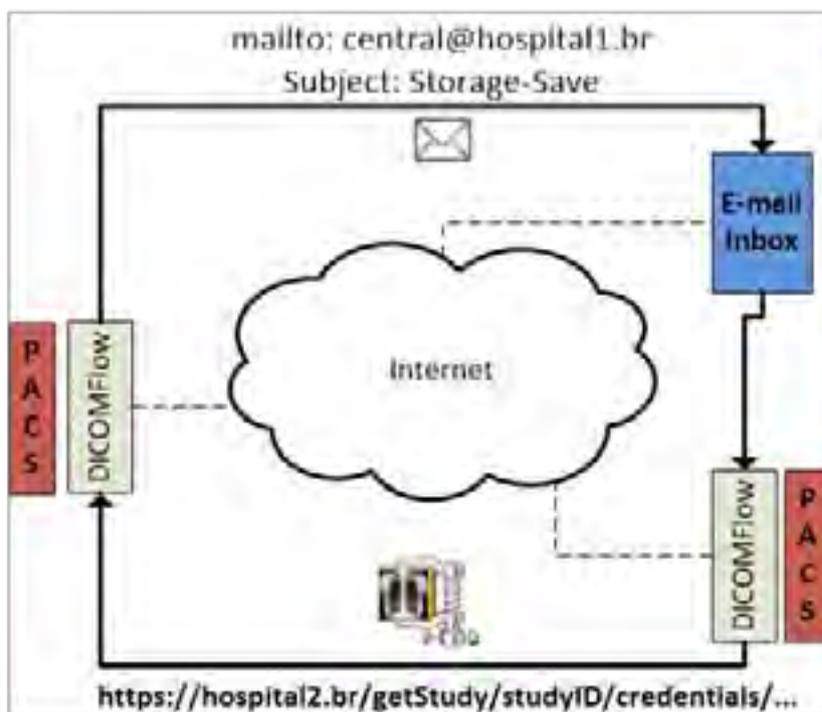


Figura 4 - Fluxo de distribuição de imagens

A fim de alcançar as características definidas anteriormente para transmissão de estudos de imagens, os serviços encaminhados via mensagem de e-mail devem conter atributos com as informações necessárias para transmissão. Por exemplo, os serviços Storage, Sharing e Request possuem, dentre outros, os atributos URL e Credentials, para informar localização e credencial de acesso ao estudo. É papel do serviço Discovery enviar o certificado digital do emissor da mensagem para estabelecimento da conexão segura, ou seja, quando a origem envia uma requisição de serviço Discovery-VerifyServices com seu certificado, ela recebe o certificado do destino através de uma resposta via serviço Discovery-VerifyResult.

Cenários de Uso

Os cenários de uso apresentados se baseiam em problemas típicos para soluções de interoperabilidade na distribuição de imagens médicas e objetiva ilustrar a capacidade de adaptação da infraestrutura a diversas situações através da composição de seus serviços. Ressalva-se que tais cenários não esgotam as situações de uso do DICOMFLOW, que não podem ser, em geral, completamente antecipadas.

Cenário 1 – Distribuição compartilhada – Neste caso, dois ou mais hospitais de uma mesma rede ou federação de hospitais têm infraestruturas PACS/DICOM completas, podendo adquirir imagens e armazenar exames localmente. Tais hospitais podem compartilhar entre si, por meio do serviço **Sharing**, referências (URL) e respectivas credenciais para acesso remoto a exames, de modo que um paciente em atendimento em um hospital possa ter exames seus recuperados de quaisquer outros hospitais da rede. Ainda, pode-se utilizar o serviço de **Storage** para espelhar informações, de modo que cada hospital armazene exames de imagem de outros hospitais da rede, por exemplo, para fins de garantia de disponibilidade.

Cenário 2 – Distribuição para diagnóstico – Neste cenário, existem clínicas de imagem localizadas em regiões remotas onde há escassez de médicos radiologistas, mas com infraestruturas PACS/DICOM completas. Radiologistas registrados nessas clínicas, com credenciais profissionais verificadas e aprovadas, passam a receber e-mails com requisições de emissão de laudos a distância através do serviço **Request**.

Cenário 3 – Distribuição para diagnóstico com repositório terceirizado – Semelhante ao anterior, porém, nesse caso, o armazenamento permanente é provido por uma empresa externa, devido a clínica não possuir infraestrutura PACS/DICOM completa. Nesse caso, a clínica requisita para o provedor externo, via serviço **Storage**, o arquivamento permanente do exame. Confirmado o arquivamento, o serviço **Request** envia e-mail ao radiologista com a requisição para emissão de laudo a distância com URL e credenciais de acesso para resgatar o exame no provedor externo.

Ressalta-se que processos comuns para comunicação e para transferência de exames de imagens podem ser empregados nos cenários. Simplificadamente, o fluxo de distribuição de imagens pode ser realizado da seguinte forma: um *gateway* DICOMFLOW, localizado na entidade originadora de imagens, monitora o PACS local e, a cada novo exame, envia mensagens de serviços para as caixas de e-mail dos interessados. Outros *gateways* DICOMFLOW, situados nos receptores, acessam essas caixas e executam os serviços contidos nessas mensagens, por exemplo, resgate do estudo para arquivamento. A Figura 4 ilustra o fluxo de um serviço *Storage-Save*.

Experimentos

Os experimentos visaram avaliar de forma preliminar a infraestrutura proposta quanto a sua viabilidade técnica e operacional. Para isso, foram realizados três experimentos: A) Avaliação de performance na distribuição de imagens; B) Sincronização de PACS entre entidades; C) Associação de uma nova entidade à rede. A próxima seção descreve o ambiente de execução e a seção que a segue especifica cada um dos experimentos.

Ambiente de Execução – Baseado no fluxo de distribuição e nas principais entidades presentes nos cenários, idealizou-se um ambiente composto por três computadores interconectados às margens de uma rede metropolitana (MAN) com capacidade de 5Mbits/s, distando 5Km entre si e protegidos por *firewalls*. As máquinas representam servidores de armazenamento de imagens médicas, como os encontrados nos sistemas PACS de hospitais e clínicas. Instalou-se, em cada uma das máquinas, o sistema de gerenciamento de imagens DICOM DCM4CHEE e seu *toolkit*, os bancos de dados PostgreSQL e MySQL, a Java Virtual Machine (JMV), os servidores de aplicações JBOSS e Tomcat como plataformas web para o DCM4CHEE e o *gateway* DICOMFLOW, respectivamente. A Tabela 2 traz a configuração das máquinas. As mensagens do protocolo de serviços do DICOMFLOW foram trocadas através do servidor de e-mail Gmail. Não houve alterações nas configurações de *firewall*, visto que o DICOMFLOW usa as portas padrão tipicamente liberadas para os protocolos HTTP e de e-mail.

As funções implementadas pelo DICOMFLOW nos servidores incluem: Monitoração do banco de dados do DCM4CHEE para envio dos serviços aos interessados quando da chegada de novos exames pelo PACS; Acesso ao diretório de armazenamento de imagens, para envio dos objetos DICOM quando requisitados; Armazenamento de objetos DICOM no DCM4CHEE quando baixados os exames. Os objetos DICOM envolvidos nos experimentos contêm imagens de Tomografias Computadorizadas (CT) e o exame utilizado contém 360 imagens de CT, proveniente do repositório Osirix (www.osirix-viewer.com/datasets). O exame foi replicado 80 vezes para ser utilizado nestes experimentos. O total de exames e o total de arquivos XML dos serviços enviados por mensagem nos experimentos podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 2 - Especificações dos servidores de imagens.

Recurso	Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3
CPU	Intel I3 2.13 Ghz x2	Intel Core2 Duo 2.11Ghz x2	AMD Athlon 2.11Ghz x2
Memória	DDR2 667Mhz 4GB	DDR2 667Mhz 4GB	DDR2 667Mhz 4GB
OS	Windows 10	Windows Vista	Ubuntu 16.05
JVM	versão 1.7.x+JDK	versão 1.7.x+JDK	versão 1.7.x+JDK
BD	Postgres 8.3	MySQL 5.1	MySQL 5.1
DCM4CHEE	versão 2.18.x	versão 2.17.x	versão 2.18.x
DCM4CHEToolkit	versão2.0.23	versão 2.0.29	versão 2.0.23
DICOMFLOW	versão 1.2	versão 1.2	versão 1.2
JBOSS	versão 4.2.3.GA	versão 4.2.3.GA	versão 4.2.3.GA
Tomcat	versão 7.0.29	versão 7.0.29	versão 7.0.29

Tabela 3 - Exames e arquivos XML empregados no experimento.

Arquivo	Tamanho unitário	Quantidade utilizada	Tamanho Total
Exame de CT	32,4MB	80	2,53GB
XML de Serviços	1KB	160	160KB

Especificação dos Experimentos – O experimento A (avaliação de performance de distribuição de imagens) visou testar o desempenho e a capacidade de carga do DicomFlow através da transferência concorrente de exames da máquina 2 para a máquina 1. O experimento ocorreu da seguinte forma: foram introduzidos 10 exames no DCM4CHEE da máquina 2 através do toolkit, em seguida foi inserido o endereço de e-mail da máquina 1 no DicomFlow da máquina 2 e, por fim, foram iniciadas as aplicações de ambas as máquinas nos respectivos servidores web. Na máquina 1, foi medido o tempo total de transferência dos 10 exames. Na máquina 2, foram medidos o tempo de acesso ao BD do DCM4CHEE, tempo de compactação dos exames e o tempo de envio das mensagens de requisição de arquivamento (storage-save). Foram executadas dez repetições do experimento para cálculo dos tempos médios e o teste foi reproduzido com 20, 30 e 60 exames.

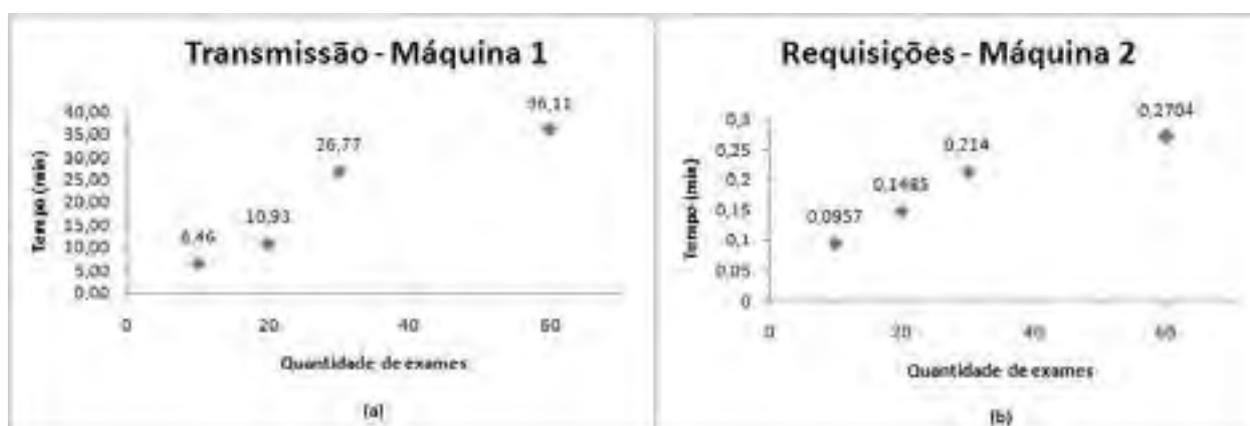


Figura 5 – Tempo médio de transmissão (a) e requisição (b) por quantidade de exames

O experimento B (sincronização de PACS entre entidades) teve o objetivo de aferir a capacidade de sincronização de exames entre a máquina 1 e a máquina 2. Foram introduzidos 10 exames no DCM4CHEE de ambas as máquinas através do *toolkit*, logo após foi inserido o endereço de e-mail da máquina 2 no DICOMFLOW da máquina 1 e vice-versa. Depois, as aplicações de ambas as máquinas foram iniciadas em seus respectivos servidores web. Em cada máquina foi medido o tempo de transferência desses exames, de acesso ao BD do DCM4CHEE, de escrita dos objetos no DCM4CHEE e de envio e leitura de mensagens de requisição de arquivamento (Storage-Save). Este processo foi repetido três vezes e os tempos médios calculados. Por fim, o teste foi reproduzido para a sincronização de 20 e 40 exames.

O experimento C (associação de uma nova entidade à rede) teve o propósito de testar a escalabilidade da arquitetura com a inclusão da máquina 3 à rede. Esse teste foi efetuado logo após o término do experimento B e ocorreu da seguinte forma: o endereço de e-mail da máquina 3 foi inserido no DICOMFLOW das máquinas 1 e 2, então, foi iniciada a aplicação da máquina 3 em seu servidor web. Foi mensurado na máquina 3 o tempo total de transferência dos exames contidos nas demais. Todo o processo foi repetido 3 vezes com 10, 20 e 40 exames inclusos nas máquinas 1 e 2.

Resultados

O gráfico (a) da Figura 5 mostra o tempo médio das transferências de exames efetuados pela máquina 1 e o gráfico (b) apresenta o tempo médio para preparação e envio das requisições de transferências da máquina 2 (Experimento A). O histograma na Figura 6 apresenta o tempo médio de sincronização e o *overhead* originado pelo processamento de controle nas transferências efetuadas pelas máquinas 1 e 2 (Experimento B). O gráfico na Figura 7 ilustra o tempo médio total utilizado pela máquina 3 para sincronizar os estudos contidos nas máquinas 1 e 2 (Experimento C). O eixo horizontal mostra o somatório dos exames em cada uma das demais máquinas.

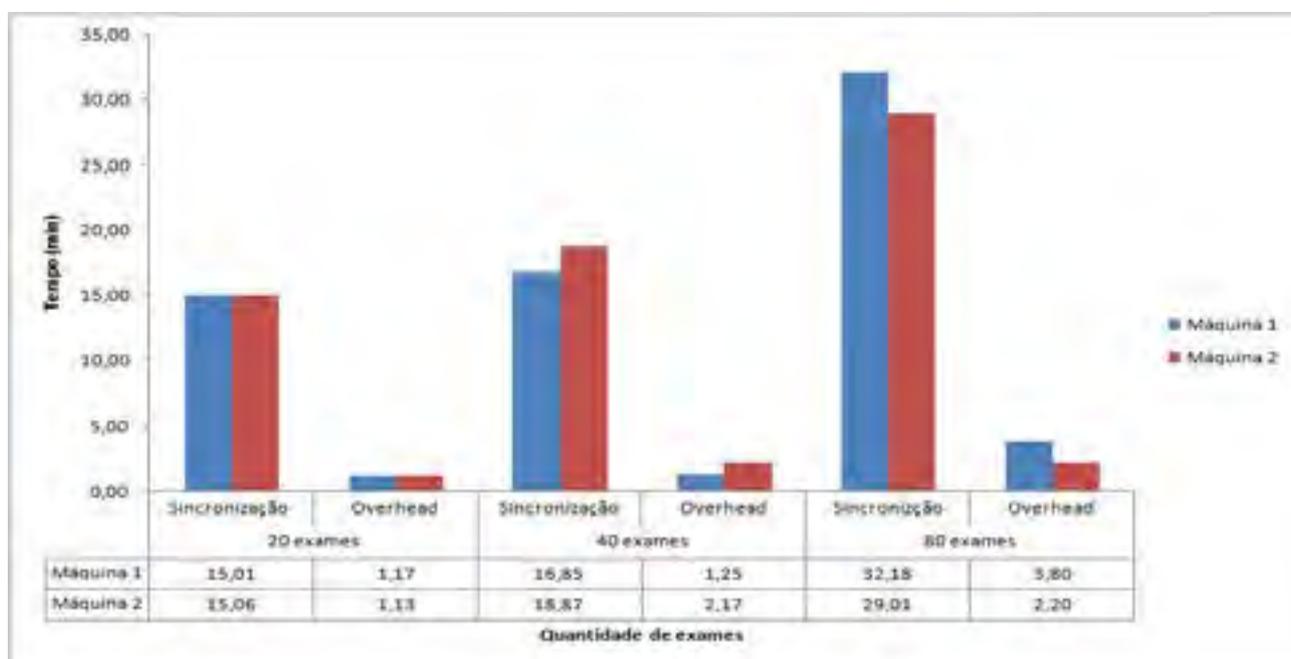


Figura 6 – Tempo médio de sincronização entre as Máquinas 1 e 2



Figura 7 – Tempo médio de sincronização máquina 3

Discussão e Conclusão

Conforme observado nos experimentos, a composição das tecnologias empregadas na solução mostrou que a arquitetura do DICOMFLOW é tecnicamente viável. Não se observaram erros operacionais por incompatibilidade de tecnologias e tampouco houve falhas nos testes. Todas as requisições foram atendidas e nenhuma transmissão foi interrompida e os arquivos se mantiveram íntegros no destino.

Relativo aos resultados, os tempos de atendimento a requisições e de transferência efetiva mensurado no experimento A apresentaram um desempenho equiparável a outras formas de transmissão, como por exemplo, o comando SCP do protocolo SSH (Secure SHell) ou através do navegador de Internet. O crescimento linear desses tempos em relação ao aumento do número de exames transferidos (Figura 5) demonstrou a capacidade de carga que o DICOMFLOW suporta. Ademais, os experimentos B e C possibilitaram validar a robustez do fluxo dos serviços empregados. Apenas alertas relativos ao número de conexões ativas no acesso a caixa de mensagem foi identificado, devido à limitação imposta pelo servidor de e-mail adotado, gerando diferença entre os tempos nos ensaios com 40 e 80 exames (Figura 6). Contudo, o percentual médio de *overhead* foi de 9,23% em relação ao tempo total de sincronização nos três casos. 1% desse *overhead* foi gerado pelo controle do DICOMFLOW (acesso ao Banco de Dados e I/O) e o restante corresponde aos serviços externos (armazenamento no DCM-4CHEE e acesso ao servidor de e-mail).

Comparado a outras soluções, como aquelas baseadas em computação na nuvem^{[5],[6],[7],[8]} ou em padrões perfis de integração IHE^{[9],[10]}, o principal fator que distingue o DICOMFLOW é a sua arquitetura não pressupor autoridade ou elementos centrais, sendo seu controle e coordenação distribuídos. A presença desses elementos dificulta a livre associação de entidades arbitrárias, requerendo em geral a satisfação de políticas para federalização. Do ponto de vista operacional, limita o crescimento em larga escala da infraestrutura, por exemplo, para lidar com uma grande quantidade de integrantes com elevada heterogeneidade técnica e social. Ainda, o DICOMFLOW também possui vantagens em relação ao DICOM e-mail^[13], pois transmitir objetos DICOM através do e-mail torna necessário o uso de técnicas de fragmentação e verificação de integridade, fato que sobrecarrega o protocolo. O modelo aqui proposto contorna essa sobrecarga devido a sua assimetria, que oferece ao receptor a opção de decidir o momento da recuperação efetiva do estudo de imagem.

Portanto, o DICOMFLOW possibilita a troca de imagens entre profissionais e organizações de saúde quaisquer, desde que pertençam à base instalada PACS/DICOM e de e-mail na Internet. É importante

destacar que o *gateway* DICOMFLOW atua abaixo da camada de trabalho e não interfere diretamente em como o trabalho deve ser realizado ou em como as imagens trocadas serão utilizadas entre as partes. Tal característica torna o DICOMFLOW versátil, com grande capacidade de adaptação em contextos com diferentes práticas de trabalho. Assim, a elevada conectividade da base instalada aliada a capacidade de adaptação tem o potencial para fomentar o surgimento de uma infraestrutura de informação para distribuição de imagens médicas.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Engenharia de Software (INES) e financiado pelo CNPq, processo 573964/2008-4.

Referências

- [1] Huang HK. PACS and imaging informatics: basic principles and applications. 2nd ed. New Jersey: Wiley-Blackwell; 2010. 1048 p.
- [2] Pianykh OS. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012. 423 p.
- [3] Oliveira MAL, Motta GHMB. Formação de uma infraestrutura de informação para telerradiologia: um estudo de múltiplos casos baseado na teoria de projeto para complexidade dinâmica. J Health Inform. 2016. Aceito para publicação.
- [4] Ribeiro LS, Costa C, Oliveira JL. Current Trends in Archiving and Transmission of Medical Images. In: Erondy OF, editor. Medical Imaging. InTech; 2011. p. 89–106.
- [5] Silva LAB, Costa C, Oliveira JL. DICOM relay over the cloud. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2013 May;8(3):323–33.
- [6] Monteiro EJM, Costa C, Oliveira JL. A Cloud Architecture for Teleradiology-as-a-Service. Methods Inf Med. 2016 Mar 4;55(3):1–12.
- [7] Yuan Y, Yan L, Wang Y, Hu G, Chen M. Sharing of Larger Medical DICOM Imaging Data-Sets in Cloud Computing. J Med Imaging Heal Informatics. 2015;5(7):1390–4.
- [8] Godinho TM, et al. A Routing Mechanism for Cloud Outsourcing of Medical Imaging Repositories. IEEE J Biomed Heal Informatics. 2016;20(1):367–75.
- [9] Zhang K, et al. Clinical experiences of collaborative imaging diagnosis in Shanghai district healthcare services. In: Zhang J, Cook TS, editors. SPIE 9789, PACS and Imaging Informatics: Next Generation and Innovations. 2016. p. 97890X.
- [10] Ribeiro LS, et al. XDS-I outsourcing proxy: Ensuring confidentiality while preserving interoperability. IEEE J Biomed Heal Informatics. 2014;18(4):1404–12.
- [11] Integrating the Healthcare Enterprise [homepage]. Cross-enterprise document sharing for imaging (XDS-I.b); 2016. Available from: http://wiki.ihe.net/index.php/Cross-enterprise_Document_Sharing_for_Imaging.
- [12] Integrating the Healthcare Enterprise [homepage]. Cross-Community Access-Images (XCA-I); 2016. Available from: [http://wiki.ihe.net/index.php/Cross-Community_Access_-_Images_\(XCA-I\)](http://wiki.ihe.net/index.php/Cross-Community_Access_-_Images_(XCA-I)).
- [13] Weisser G, et al. Teleradiology applications with DICOM-e-mail. Eur Radiol. 2007 May;17(5):1331–40.
- [14] Oliveira MAL. Formação de uma infraestrutura de informação para telerradiologia: uma série de estudos de caso baseados na teoria de projeto para complexidade dinâmica. [Dissertação de Mestrado] João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba; 2015.

- [15] Araújo DAB, et al. DicomFlow: Um modelo de arquitetura para formação de uma infraestrutura de informação telerradiológica. In: Proceedings of the XII Brazilian Symposium on Information Systems. 2016. p. 458-465.
- [16] Bowker GC, et al. Toward Information Infrastructure Studies: Ways of Knowing in a Networked Environment. In: Hunsinger J, Klastrup L, Allen M, editors. International Handbook of Internet Research. Dordrecht: Springer; 2010. p. 97–117.
- [17] Hanseth O, Lyytinen K. Design theory for dynamic complexity in information infrastructures: the case of building Internet. J Inf Technol. 2010 Mar;25(1):1–19.
- [18] Fielding RT. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures [PhD Thesis]. Irvine: University of California; 2000. Chapter 5, Representational State Transfer (REST); p. 76-106.
- [19] Amazon Web Services, Inc.[homepage]. Authenticating Requests Using the REST API;2016. Available from: http://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/dev/S3_Authentication2.html.
- [20] Engelmann U, et al. Dicom e-mail: Germany's minimum standard for teleradiology. In International Congress Series. Elsevier, 2005. v.1281, p. 926-931.

Contato

Gustavo Motta

E-mail: gustavo@ci.ufpb.br

