

DicomFlow: Um modelo de arquitetura para formação de uma infraestrutura de informação telerradiológica

Alternative Title: DICOMFLOW: An architectural model for the formation of a teleradiology information infrastructure

Danilo A. B. Araújo
Universidade Federal da
Paraíba - UFPB
João Pessoa - Brasil
danilolexandre@sti.ufpb.br

Juracy R. L. Neto
Universidade Federal da
Paraíba - UFPB
João Pessoa - Brasil
juracyneto@sti.ufpb.br

Herson H. B. Damasceno
Universidade Federal da
Paraíba - UFPB
João Pessoa - Brasil
herson@outlook.com

Denys A. B. Silva
Instituto Federal do Rio
Grande do Norte - IFRN
Currais Novos - Brasil
denys.silva@ifrn.edu.br

Gustavo H. M. B. Motta
Universidade Federal da
Paraíba - UFPB
João Pessoa - Brasil
gustavo@ci.ufpb.br

RESUMO

Uma Infraestrutura de Informação (II) oferece um espaço de compartilhamento de informações e colaboração que permite a associação espontânea de pessoas, organizações e componentes tecnológicos situados em contextos geográficos distintos para desenvolvimento de alguma atividade. II não são originadas de projetos especificados *a priori*, sua formação ocorre por meio da evolução de uma base instalada. A telerradiologia atual ainda não se constitui em uma II para prática radiológica, pois a inércia presente na sua base instalada dificulta sua evolução. Este trabalho apresenta o DICOMFLOW, um modelo arquitetural descentralizado, construído sobre as infraestruturas de e-mail e PACS-DICOM, que utiliza essa própria inércia para promover a formação de uma II para prática radiológica.

Palavras-Chave

Infraestrutura de Informação, Arquitetura, Telerradiologia, PACS, DICOM

ABSTRACT

An Information Infrastructure (II) provides a space for information sharing and collaboration that allows the spontaneous association of people, organizations and technological components located in different geographical contexts to develop some activity. II do not originate from projects specified *a priori*, its formation occurs through the evolution of an installed base. The current teleradiology infrastruc-

ture does not yet constitute an II for radiological practice, as the inertia present in its installed base hampers its evolution. This paper presents DICOMFLOW, a decentralized architectural model, built on the email and PACS-DICOM infrastructures, which uses this very inertia to promote the formation of an II for radiological practice.

Categories and Subject Descriptors

C.2.4 [Distributed Systems]: Distributed applications; J.3 [Computer Applications]: Life and medical sciences—*Health, Medical information systems*; D.2.11 [Software Engineering]: Software Architectures—*Domain-specific architecture*.

General Terms

Telemedicine, Distributed Systems, Infrastructure

Keywords

Information infrastructure, Architecture, Teleradiology, PACS, DICOM

1. INTRODUÇÃO

Infraestruturas de informação (II) envolvem a noção de uma infraestrutura aberta e compartilhada, suportando um espaço social onde pessoas, organizações e componentes técnicos podem espontaneamente formar associações para o desenvolvimento de alguma atividade [4]. Entende-se por compartilhada uma II como um bem comum [4], não pertencendo a uma única empresa ou organização, mas usufruída por múltiplas comunidades de formas variadas e não previstas originalmente [9]. Por aberta, entende-se a capacidade de incluir um número crescente de entidades, sejam elas componentes tecnológicos (e.g., software, dispositivos, padrões), comunidades (e.g., usuários, desenvolvedores), organizações (e.g., empresas), bem como órgãos de governança e padronização (e.g., IETF, W3C, IEEE, ISO). O compar-

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

SBSI 2016, May 17th-20th, 2016, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil
Copyright SBC 2016.

tilhamento e a abertura, portanto, resultam numa crescente heterogeneidade técnica e social [9].

É importante destacar que infraestruturas de informação possuem um controle distribuído e episódico, em geral a única forma de coordenar a sua evolução, visto que uma II nunca é modificada de cima para baixo [9] [25] por não possuir uma autoridade central. Neste sentido, não resulta da execução de um projeto especificado *a priori*, mas evolui à medida que emerge da contínua ação recíproca entre pessoas, organizações e componentes tecnológicos num processo concorrente de construção e reconstrução [2]. A Internet é um exemplo canônico de II. A sua formação ocorreu por meio de um processo evolutivo, que contrariamente à abordagem tradicional de “projetar do zero”, segue um enfoque de “cultivar” uma base instalada (e.g., a *web* utilizou a base TCP/IP instalada) a fim de fomentar seu crescimento dinâmico por meio de um processo de *bootstrap* e crescimento adaptativo [9]. Isto é, uma II ocorre quando uma infraestrutura se auto reforça (*bootstrap*) a partir de uma base instalada e sustenta continuamente seu crescimento (adaptação) de modo a não ficar paralisada devido à inércia da própria base instalada [9] [25].

A atual base instalada para telerradiologia não se constitui em uma infraestrutura de informação [17], sendo incapaz de atender à crescente demanda [15] para compartilhamento de exames de imagens médicas entre profissionais e organizações de saúde de forma ampla, fácil, efetiva e segura. Embora não exista grandes barreiras para compartilhar tais exames quando o acesso é realizado no âmbito local dos departamentos de radiologia, empregando como base os sistemas PACS (Picture Archiving and Communication Systems) [10] e o padrão DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) [18], há graves entraves para compartilhá-los numa escala global (telerradiologia). O padrão DICOM, suportado pelos sistemas PACS, foi projetado num contexto de redes locais entre meados dos anos 80 e 90 [10], sendo seu uso inviável na prática através da Internet, por exemplo, devido questões de segurança, como a presença de *firewalls*.

Esta base instalada de PACS-DICOM, amplamente disseminada nos departamentos de radiologia, impõe uma inércia que tende a manter os exames de imagens no domínio local onde foram originados, dificultando seu compartilhamento. Consequentemente, as soluções de telerradiologia se limitam a atender demandas locais de compartilhamento à distância. Por exemplo, facultando o acesso remoto a exames para radiologistas através de VPN (Virtual Private Networks) ou provendo interpretação remota de imagens para locais predefinidos em um serviço de telerradiologia localmente gerenciado. Tais soluções são proprietárias, não interoperáveis e não escaláveis, não estabelecendo, portanto, um espaço social global de interação, característico das II.

Este trabalho contribui com a definição do DICOMFLOW [1], um modelo de arquitetura descentralizada que visa fomentar a formação de uma infraestrutura de informação para telerradiologia. A arquitetura não pressupõe autoridade ou elementos centrais, sendo seu controle e coordenação distribuídos. Utiliza como base instalada a infraestrutura PACS-DICOM dos departamentos de radiologia e a infraestrutura de e-mail presente na Internet. A ideia é utilizar a elevada conectividade do e-mail para permitir o intercâmbio de exames de imagens entre entidades arbitrárias, de forma simples e segura. Destaca-se que a infraestrutura possibilitada pelo DICOMFLOW é aberta e compartilhada,

propiciando um espaço comum que pode ter sua conectividade explorada por uma diversidade de atores. Por exemplo, para oferecer serviços de processamento e arquivamento de imagens para terceiros, na integração entre departamentos de radiologia, dentre outros usos não conhecidos *a priori*.

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma. A seção 2 traz uma visão geral das características das II e os principais desafios para sua construção. A seção 3 descreve a base instalada de PACS/DICOM nos departamentos de radiologia em termos de seus elementos sociotécnicos e fluxo de trabalho. Na sequência, a seção 4 resume os trabalhos relacionados, seguida da seção 5 apresentando a proposta do DICOMFLOW. Por fim, as seções 6 e 7 trazem a discussão e conclusão do trabalho, respectivamente.

2. INFRAESTRUTURA DE INFORMAÇÃO

Infraestruturas de informação (II) envolvem recursos e serviços digitais projetados para suportar alguma atividade humana, por exemplo, serviços computacionais e repositórios de dados [4]. II são abertas e compartilhadas, permitindo a agregação crescente de elementos sociotécnicos heterogêneos, o que possibilita a formação de novas conexões com outras infraestruturas, sendo tal crescimento não linear, sua evolução dependente dos caminhos originados por essas conexões e sua gestão distribuída sem controle central. Por serem heterogêneas, também envolvem sistemas sóciotécnicos (base instalada), que consistem em um conjunto de capacidades de TI (possibilidades de um usuário executar ações em um computador, e.g. editores de texto) e seus usuários, operações e comunidades de projeto. Estruturalmente, uma II é recursivamente composta por outras infraestruturas, plataformas, aplicações e capacidades de TI [9].

II não seguem os princípios tradicionais de projeto de software, que empregam métodos altamente centralizados ou rigidamente hierarquizados [24]. Elas emergem para as pessoas na prática, ligadas a atividades e estruturas [25], ou seja, II surgem a partir das relações e organizações entre as soluções tecnológicas que compõem sistemas (elementos técnicos) e os usuários com suas políticas e culturas (elementos sociais) que determinam regras para uso dessas soluções. Essas relações sociotécnicas fazem com que surjam novas propriedades que não foram projetadas previamente e que não podem ser observadas apenas analisando os elementos individualmente, mas enxergando os sistemas em suas inter-relações, pois se tornam maiores que a soma de suas partes. Em outros termos, as relações entre os elementos sociotécnicos tornam os sistemas dinâmicos, não lineares, complexos e adaptativos [23] [24]. Ademais, mudanças nas relações passam a ser o foco central dos sistemas, pois os envolvidos aprendem a confiar nas soluções tecnológicas que passam a constituir uma base instalada para o surgimento da II [25].

Portanto, construir uma II é dotar a base instalada de flexibilidade que possibilite a interação de entidades arbitrárias de forma transparente, promovendo a auto-organização e adaptação da II [25]. Para isso, é necessária a utilização de métodos que possibilitem a elaboração de *gateways*, soluções capazes de contornar possíveis problemas de associação entre entidades heterogêneas [6]. Como exemplo de *gateway*, tem-se o protocolo DNS que funciona como um elo entre os elementos heterogêneos endereços IP e nomes de domínio, que no seu surgimento, permitiu o estabelecimento da *web* sobre a então base instalada da Internet.

Por II serem formadas a partir de bases instaladas e não

seguindo um projeto *top-down* tradicional, os projetistas precisam gerar soluções que convençam a sua adoção enquanto a comunidade de usuários é inexistente ou pequena. Isto requer soluções iniciais que sejam as mais úteis aos usuários, antes de abordar a integralidade do projeto ou sua escalabilidade, para não dificultar a alavancagem da II (processo de *bootstrap*). Por outro lado, quando a II se beneficia dos efeitos de rede e começa a se expandir, alternando para um período de rápido crescimento, os projetistas precisam atentar para demandas inesperadas e diversas, produzindo soluções capazes de se adaptar a tais necessidades técnicas e sociais (processo de adaptação) [9].

3. BASE INSTALADA PACS-DICOM

Os sistemas PACS possibilitaram a integração de componentes relativos ao imageamento médico para a prática radiológica, permitindo a formação de infraestruturas que englobam tecnologias de hardware e software para aquisição, armazenamento e análise de imagens médicas em departamentos de radiologia [10]. Essa formação baseou-se no padrão de comunicação e arquivamento de imagens digitais em medicina (DICOM) [21], que permite atualmente a troca estruturada de imagens médicas e informações clínicas complementares entre equipamentos de fabricantes distintos, sendo adotado como padrão global [5]. O DICOM fornece definições e diretrizes de implementação para que os equipamentos possam interagir em uma mesma organização (domínio) e possibilita diversas formas de implementação de um sistema PACS [10]. Ainda assim, é possível identificar um fluxo de trabalho (*workflow*) radiológico comum e bem definido, apesar da diferença de estrutura organizacional presente nessas implementações (Figura 1).

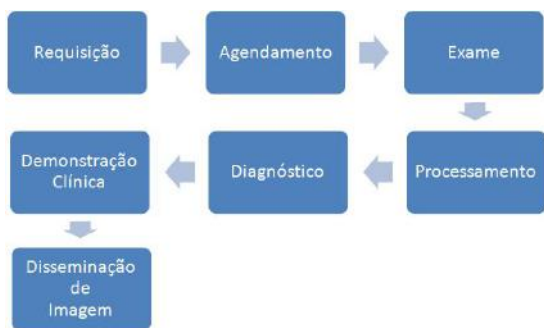


Figura 1: Workflow radiológico

No entanto, apenas empregar o modelo PACS-DICOM (Figura 2) em um departamento de radiologia não atende à crescente demanda [15] para compartilhamento de exames de imagem entre profissionais e organizações de saúde de forma ampla, fácil, efetiva e segura. A liberdade que as organizações têm para personalizar o modelo às suas necessidades dificulta a elaboração de soluções que promovam conectividade de forma escalável. Ainda, os identificadores dos pacientes estão suscetíveis a duplicidade [21], complicando o processo de integração para troca de exames entre duas entidades. Esses e outros desafios sociais e técnicos (e.g. política de privacidade de dados do paciente) produzem uma forte inércia que dificulta a expansão do modelo PACS-DICOM de um contexto local para global. A ideia é

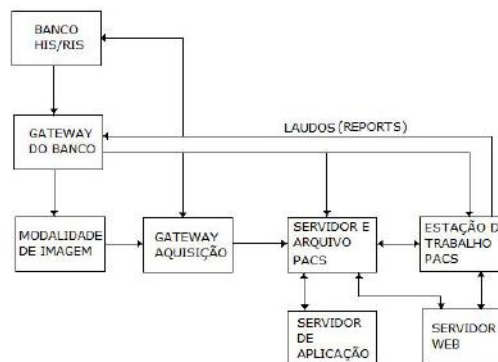


Figura 2: Modelo Básico de Arquitetura PACS. Fonte: Adaptado de Huang *et al.* [10]

encontrar soluções que utilizem esta própria inércia da base instalada para alavancar o surgimento de uma II para a prática radiológica.

4. TRABALHOS RELACIONADOS

A *Integrating the Healthcare Enterprise* (IHE), iniciativa para promover a interoperabilidade entre organizações de saúde, elaborou perfis de integração para compartilhamento de registros eletrônicos em saúde (EHR) [19]. O objetivo dos perfis é garantir que, no tratamento de pacientes, as informações necessárias para decisões médicas estejam corretas e disponíveis para profissionais de saúde [11], enriquecendo o uso dos padrões existentes (e.g., DICOM, HL7, ISO, IETF), constituindo uma oportunidade de readaptar o fluxo de PACS para troca de dados entre instituições [16]. O perfil técnico *Cross-Enterprise Document Sharing* (XDS) [11] regula a publicação, busca e recuperação de registros médicos entre domínios. O XDS-I [13] é uma extensão do XDS para suportar documentos de imagem, incluindo especificamente conjuntos de instâncias DICOM. Ainda há os perfis técnicos chamados *Cross-Community Access* (XCA) e XCA-I [12] [14] que orientam o desenvolvimento de soluções de compartilhamento de documentos entre comunidades de domínios [29].

Zhang *et al.* [29] propõem uma solução de compartilhamento entre comunidades compatível com os perfis de integração IHE XDS-I e XCA, combinando capacidade de distribuição e gerenciamento de imagens em *Grid* e arquitetura orientada a serviços (SOA), resultando em um modelo fracamente acoplado com componentes distribuídos via *Web-Services*, habilitando a colaboração ponto-a-ponto entre os diferentes hospitais de Xangai para fornecer diagnóstico por imagem eficiente, dando uma visão integrada de um super PACS para os usuários finais. Ribeiro *et al.* propõem um *proxy* que tira proveito das capacidades da computação em nuvem [22] para promover a externalização dos componentes especificados no perfil XDS, preservando a interoperabilidade, a confidencialidade e capacidade de busca de informações clínicas. Tais características são garantidas através de esquemas de criptografia, nos quais os dados são criptografados/descriptografados no lado do cliente e armazenados no lado servidor como dados protegidos. Em [3] é possível observar a implantação da arquitetura XDS pelo mundo.

O DICOM e-mail [28] é um protocolo padronizado para

troca de exames de imagens de médicas através de uma conexão segura entre dois parceiros que não precisam ser conhecidos *a priori* (*ad hoc teleradiology connection*) [27]. Especificado pelo *IT Working Group* (@GIT) da Sociedade Alemã de Radiologia (DRG), utiliza as especificações do protocolo de transmissão de mensagens (SMTP) e de anexo de objetos DICOM em e-mails (Supplement 54:DICOM MIME-Type) e garante a segurança das informações trafegadas aplicando criptografia PGP/GPG [7]. DICOM e-mail é um exemplo de infraestrutura construída sobre uma base instalada [20], não proprietária, que pode ser integrada a uma organização de saúde sem alterar o *workflow*, arquitetura de *firewalls* e políticas locais de segurança [27].

Weisser et al. [26] apresentam diferentes aplicações de teleradiologia com o DICOM e-mail, por exemplo, emissão de laudos e consultas de emergência ou a peritos. Através da sua simplicidade funcional, focada na transmissão assíncrona de imagens, foi possível integrá-lo com outras infraestruturas de serviços, de variadas formas, para compor aplicações de teleradiologia no *workflow* de mais de 240 instituições na Alemanha, tanto na região do Rhein-Neckar quanto no Vale do Ruhr. Como exemplo, no ano de 2013, o Hospital da Universidade de Mannheim recebeu mais de 6.000 exames de imagens e transmitiu cerca de 3.700 exames para 36 parceiros na rede, com um fluxo de envio/recepção de mais de 2.500.000 imagens [20].

5. DICOMFLOW

O DICOMFLOW é um modelo de arquitetura descentralizada que visa fomentar a formação de uma infraestrutura de informação para teleradiologia, tomando como base instalada a infraestrutura PACS-DICOM dos departamentos de radiologia e a infraestrutura de e-mail presente na Internet. No entanto, para construir sobre uma base instalada é preciso conhecer sua inércia para tirar proveito de seus pontos fortes contornar suas limitações [25].

Como pontos fortes do PACS-DICOM tem-se: o amplo uso do protocolo DICOM como padrão de comunicação entre equipamentos presentes nos departamentos de radiologia, independentemente do fabricante; e o *workflow* radiológico bem definido, apesar das variações que possam existir na arquitetura PACS. A primeira limitação relaciona-se à estrutura PACS-DICOM ter sido projetada entre meados dos anos 80 e 90 [10], num contexto de redes locais, fato que inviabiliza na prática a transmissão de exames de imagens com protocolo DICOM via Internet, tanto pela existência de *firewalls* quanto pelo *overhead* da transmissão. A segunda limitação refere-se às necessidades de segurança dos dados clínicos de pacientes para tráfego via Internet, não contempladas na prática pela atual base instalada PACS-DICOM.

A intenção, portanto, é beneficiar-se dos pontos fortes da infraestrutura PACS-DICOM e contornar as suas limitações. Então, é preciso dispor de uma solução que atue como *gateway* entre a base instalada PACS-DICOM e a Internet, capaz de interpretar as informações do protocolo DICOM e retransmiti-las na Internet via protocolos aceitos pelas políticas de segurança implementadas nos *firewalls*. Tudo sem alterar a estrutura PACS-DICOM local, possibilitando transpor o *workflow* radiológico em um contexto global e com a implementação das políticas de segurança requeridas.

Um aspecto chave dessa solução que atua como *gateway* é utilizar a base instalada de e-mail da Internet. Ela possui como ponto forte a elevada conectividade, sendo capaz, na

prática, de trocar mensagens entre uma ampla diversidade de profissionais e organizações de saúde, sem necessidade de modificação de seus *firewalls*, possibilitando a integração do *workflow* radiológico para um contexto global. Ademais, o e-mail é assíncrono e permite transportar de forma segura (com confidencialidade, integridade e autenticidade) o conteúdo das mensagens, viabilizando implementar políticas de segurança de dados clínicos. O ponto negativo está na dificuldade em transportar exames de imagens médicas como anexos de e-mail, como ocorre no DICOM e-mail [26]. Devido ao seu grande tamanho (> 30 MBytes), um exame deve ser fragmentado em vários e-mails para ser transmitido. Para contornar tal dificuldade, presente no DICOM e-mail, optou-se no DICOMFLOW por um enfoque assimétrico. Utiliza-se o e-mail para notificar o receptor da disponibilidade de um exame para realizar alguma ação (e.g., emitir um laudo), incluindo-se neste e-mail as informações para o acesso ao exame. O receptor resgata o exame via algum protocolo de transmissão de conteúdo (e.g., HTTP/REST) atendendo requisitos de segurança parte a parte (e.g. uso de uma credencial acesso temporária para baixar o exame).

5.1 Cenários de Uso

Uma II precisa possuir uma grande capacidade de composição de seus elementos para ser capaz de se adaptar a uma diversidade de situações. Esta seção descreve alguns cenários de uso para o DICOMFLOW visando ilustrar sua flexibilidade de composição, ressaltando-se que tais cenários não esgotam suas situações de uso, que não podem ser completamente antecipadas.

5.1.1 Transferência Simples

Considere-se a situação em que um hospital central dispõe de uma infraestrutura PACS completa, incluindo a capacidade de armazenamento permanente de exames de imagem. Por outro lado, organizações de saúde mais simples, como uma unidade de pronto atendimento (UPA), podem possuir equipamentos de imagem mas não dispor da capacidade de armazenamento permanente. Nesse cenário, exames e laudos realizados em UPAs são encaminhados para armazenamento permanente na infraestrutura PACS de um hospital central. O processo é feito da seguinte forma:

1. Um *gateway* na UPA monitora cada novo exame realizado e envia uma mensagem de e-mail para o hospital central indicando que há um novo exame a ser armazenado (Figura 3). Nesta mensagem estão contidos metadados, incluindo a *URL* para baixar o exame e as credenciais de acesso;
2. Um *gateway* no hospital central então baixa os exames com base nas informações recebidas via e-mail e os armazena (Figura 4).

5.1.2 Distribuição Compartilhada

Neste cenário, dois ou mais hospitais pertencem a uma mesma rede ou federação. Cada um deles mantém uma infraestrutura PACS própria, armazenando os exames de imagem localmente. É preciso compartilhar entre si os exames de imagens realizados por seus pacientes em qualquer unidade da rede. Para isso, assim como foi explicado no cenário anterior, um *gateway* em cada hospital da rede monitora seus novos exames de imagem realizados. A cada novo exame, o

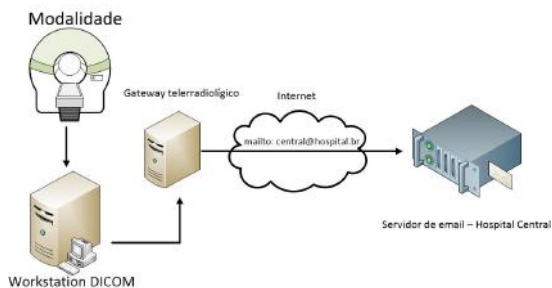


Figura 3: Transferência simples - Parte 1

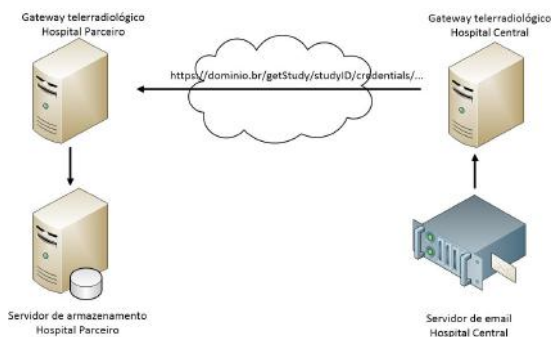


Figura 4: Transferência simples - Parte 2

gateway notifica os demais integrantes da rede enviando um e-mail com os metadados contendo informações do exame, *URL* para baixá-lo e credenciais de acesso.

Devido a assimetria do esquema de compartilhamento do DICOMFLOW, o hospital receptor tem a opção de baixar o exame imediatamente ou sob demanda, posteriormente, em função de razões de economia de espaço de armazenamento e de tráfego de rede.

5.1.3 Distribuição para Diagnóstico

Geralmente, em regiões geográficas remotas, existe uma escassez de médicos radiologistas. No Brasil, um país de dimensões continentais, tal situação é ainda mais acentuada, uma vez que os médicos especialistas tendem a se concentrar nas grandes cidades das regiões mais ricas do Sul e Sudeste, enquanto que nas regiões mais pobres do Norte e Nordeste, a disponibilidade desses profissionais é menor [8]. Com isso, exames realizados em clínicas de imagem de tais localidades remotas ficam pendentes aguardando a disponibilidade de um médico para realizar os laudos. O DICOMFLOW pode auxiliar os radiologistas a realizar laudos de diagnóstico à distância, possibilitando um atendimento mais rápido aos pacientes e em uma redução de custos para os hospitais.

Nesse cenário, os radiologistas são registrados nas clínicas e suas credenciais profissionais (e.g., inscrição no conselho de medicina) e de segurança (e.g., certificado digital, e-mail) são verificadas como parte de um política de segurança. Um *gateway* instalado no computador do radiologista monitora na caixa de entrada do seu e-mail os novos exames direcionados a ele. O radiologista, mediante algum software aplicativo (fora do escopo do DICOMFLOW), pode baixá-los no momento desejado (graças à assimetria), interpretá-los e os respectivos laudos (e.g., DICOM Report) são enviados via

e-mail para a clínica como anexos. Do lado da clínica, um *gateway* monitora a caixa de e-mail em busca dos laudos enviados pelos vários radiologistas prestadores de serviço, para recebê-los para fins de armazenamento e posterior entrega ao paciente ou médico requisitante.

5.1.4 Distribuição para Diagnóstico com Repositório Terceirizado

Cenário semelhante ao anterior, porém, nesse caso, o armazenamento é realizado por serviço provido por uma empresa externa. O *gateway* na clínica notifica via e-mail a empresa dos novos exames para armazenar. Na empresa, o *gateway* monitora e-mails com solicitações de armazenamento de seus clientes e no momento oportuno os baixa e armazena. Nesse cenário, os e-mails notificando os radiologistas para emitir laudo contêm as *URLs* para baixar os exames a partir do serviço externo, por delegação das credenciais de acesso emitidas pela clínica de origem dos exames.

5.1.5 Rede Social Radiológica

Uma Rede Social Radiológica é um serviço que promove o relacionamento entre pacientes, profissionais de saúde (médicos radiologistas, técnicos, etc.) e as entidades originadoras de imagem, como clínicas e hospitais. O DICOMFLOW atuaria como infraestrutura integradora dos fluxos de exames de imagens e laudos entre tais entidades, estando, entretanto, abaixo da plataforma de suporte da rede social.

5.2 A arquitetura DicomFlow

Sob a ótica dos cenários, a arquitetura do DICOMFLOW tem como principais macro requisitos: garantir a troca de mensagens entre instituições e profissionais de saúde e a transferência de exames de imagem através da Internet. Ambos os requisitos devem englobar aspectos de segurança e confiabilidade impostos pelas políticas de tráfego de informações clínicas via Internet. A fim de facilitar a implementação dos requisitos e garantir o baixo acoplamento entre módulos, a arquitetura foi organizada em duas camadas (DicomMessage e DicomMove), cada uma focada em atender a um dos macro requisitos. Tal organização simplifica a elaboração das protocolos de comunicação entre as camadas, tornando-as independentes e permitindo que outras soluções possam ser empregadas sem prejudicar o funcionamento da arquitetura, desde que estejam em conformidade com os protocolos. A arquitetura proposta para o DICOMFLOW é de referência e todo aquele que conhece seus protocolos é livre para fazer sua própria implementação, não se tendo controle de quem implementa. A Figura 5 apresenta sucintamente a organização de suas camadas e respectivas soluções.

5.2.1 DicomMessage

Para elaborar a camada DicomMessage, especificou-se um protocolo de comunicação com base em SMTP constituído de serviços atômicos com descrição clara e de fácil implementação. A ideia foi dotar a infraestrutura de maior capacidade de adaptação com a possibilidade de definição de novos serviços a partir da composição dos serviços atômicos. Outra característica do DicomMessage é não possuir nas suas definições elementos com características centralizadoras, como a necessidade de um repositório comum entre as entidades que eventualmente venham a trocar exames. Além disso, deve permitir que uma entidade seja capaz de encontrar o domínio de qualquer outra entidade através de um mecanismo

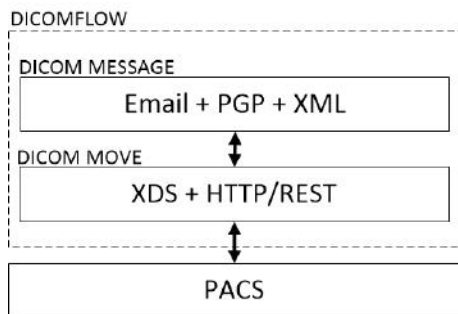


Figura 5: Arquitetura do DicomFlow

de endereçamento, para enviar as informações desejadas e também possibilitar que esse seja encontrado pelos demais. Por fim, deve proporcionar a troca de informações de forma assíncrona, característica essa que remove a exigência de se manter uma conexão ativa durante a troca de informação.

O protocolo baseia-se nas diretrizes presentes na documentação do DICOM e-mail [28] para especificação dos seus serviços atômicos, indicados a seguir: **Serviço de Armazenamento** para comunicar requisições de transferência de um objeto DICOM para armazenamento e para comunicar resultados a essas requisições; **Serviço de Compartilhamento** para comunicar requisições de compartilhamento de objetos DICOM para análise e para comunicar respostas às requisições; **Serviço de Busca** para solicitar informações sobre objetos DICOM e para responder essas solicitações; e **Serviço de Descoberta** para verificar se um determinado serviço ou conjunto de serviços podem ser atendidos.

Assim como no DICOM e-mail, os serviços requisitam ações, ou seja, carregam as informações das atividades que devem ser efetuadas pelo receptor da mensagem. Por exemplo, o Serviço de Armazenamento possui as ações de **Salvamento** para requisitar que um novo objeto DICOM seja salvo pelo receptor da mensagem; **Atualização**, determinando que um objeto DICOM seja adicionado a um objeto DICOM já existente; e **Remoção**, orientando que um objeto seja excluído pelo receptor da mensagem. Os serviços e suas respectivas ações são enviadas na parte de conteúdo das mensagens em formato XML e criptografados com o padrão PGP para fins de confidencialidade e autenticidade. Além disso, informações sobre o meio e as credenciais necessárias para acesso aos exames de imagem e informações complementares também são enviadas criptografadas no conteúdo da mensagem. Em adição, dados para identificação do serviço/ações e dados para controle de validade da mensagem (*timeouts*) são informados no cabeçalho das mensagens, para fins de melhoria de performance.

A Figura 6 mostra a estrutura modular do DicomMessage. O módulo denominado **Gestor de Processos** atua como coordenador do fluxo de envio e recebimento de mensagens (*Handler*), sendo responsável por criar e configurar os serviços do DICOMFLOW em formato XML (especificado pelo protocolo) utilizando funcionalidades do módulo **ParserXML**. Em adição, cabe a ele codificar tais serviços com criptografia PGP para repassá-los para o módulo **Sender**, que monta a mensagem (elaborando o cabeçalho e incorporando a estrutura XML criptografada) e a envia por SMTP para o destino. O módulo **Receiver** é responsável por moni-

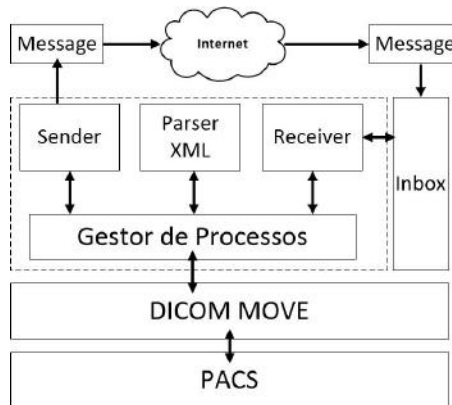


Figura 6: Estrutura modular do DicomMessage

torar a caixa de mensagens. Quando uma nova mensagem é encontrada, ele remove o seu cabeçalho e repassa o conteúdo criptografado para o Gestor de Processos, que descriptografa a mensagem (validação para verificação de autenticidade e integridade) e efetua todo o processo inverso até obter as informações do serviço requisitado. O fluxo de envio e recebimento de mensagens pode ser visto na Figura 7.

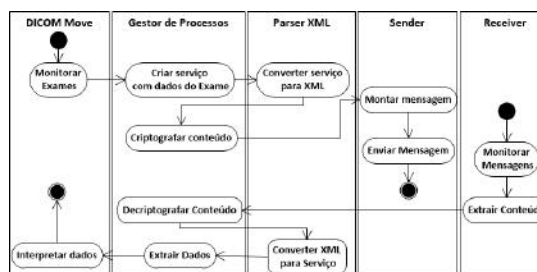


Figura 7: Fluxo de envio/recebimento de mensagens

5.2.2 DicomMove

O DicomMove é a camada responsável pelo controle da transmissão dos exames de imagem. Adota como referência a especificação dos perfis XDS e XDS-I e utiliza as definições dos atores dessa arquitetura em seus módulos. Os perfis de integração têm quatro atores que desempenham os seguintes papéis [19]: o **Registry**, que é responsável por responder consultas sobre exames, manter registro dos metadados dos exames e o caminho para localizá-los no repositório; o **Repository** armazena os exames de imagem; o **Source** gera os exames, compartilha-os no repositório e registra esse compartilhamento; e **Consumer** recupera os exames em um determinado repositório, efetuando consultas ao registro.

A elaboração do DicomMove busca beneficiar-se apenas do conceito de indexação e localização de documentos da arquitetura XDS e XDS-I. Mapeia os papéis dos atores para seus módulos, contudo não emprega a ideia do registro central para busca e localização de documentos entre organizações distintas. As informações necessárias a esse compartilhamento (os metadados dos exames de imagem, o caminho para acesso e as credenciais de autorização) são enviados por e-mail pelo DicomMessage para a organização de des-

tinio, dispensando a necessidade de um registro central ou comum entre elas. Ou seja, a solução XDS/XDS-I é usada localmente à organização de saúde, sendo útil apenas para centralizar internamente o acesso a exames de imagem para a camada DicomMove, quando da solicitação externa de exames para baixar, por exemplo, via HTTP/REST.

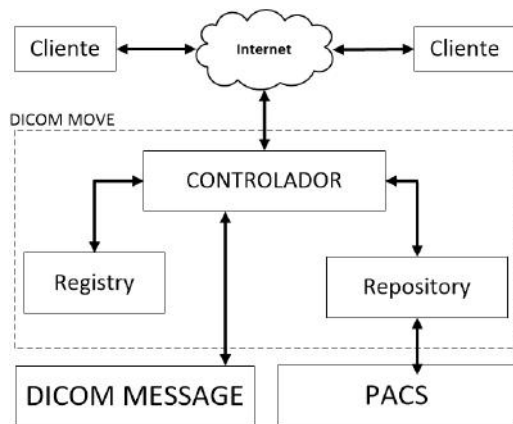


Figura 8: Estrutura modular do DicomMove

A Figura 8 ilustra a estrutura modular do DicomMove. O **Controlador** coordena as atividades da camada, consulta a produção de novos exames no **Repository**, solicita ao **Registry** armazenamento dos metadados para acesso (*URLs*, credenciais e tempo validade dessas informações), e encaminha esses metadados à camada superior para envio de mensagem. Além disso, responde a requisições de exames via *URL*. No caso, o **Controlador** verifica as credenciais fornecidas nos parâmetros da *URL*, solicita autenticação ao **Registry** que valida e libera acesso ao exame. O **Repository** monitora a estrutura PACS para localização de exames e envia exames requisitados na *URL*. A especificação do DicomMove fornece protocolos para elaboração do mecanismo de recuperação com verificação de credenciais. A Figura 9 mostra um fluxo de acesso a um exame médico via *URL*.

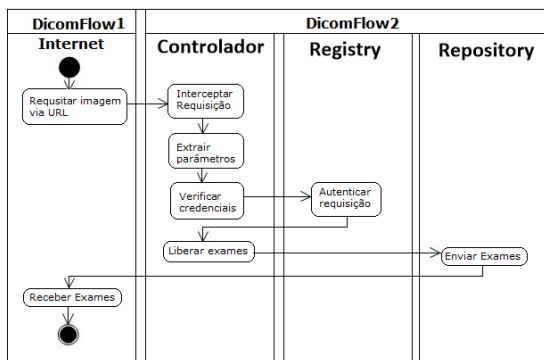


Figura 9: Fluxo de Acesso a um Exame

6. DISCUSSÃO

A utilização de *gateways* com suporte aos protocolos do DICOMFLOW (DicomMessage e DicomMove) possibilita a

troca de exames de imagens entre profissionais e organizações de saúde quaisquer, desde que esses pertençam à comunidade presente na ampla base instalada PACS-DICOM e de e-mail na Internet. É importante destacar que tais *gateways* atuam abaixo da camada de trabalho, ou seja, eles não interferem diretamente em como o trabalho deve ser realizado ou em como os exames trocados vão ser utilizados [6]. 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 II de telerradiologia como um sistema sociotécnico de TI aberto, compartilhado, heterogêneo e evolutivo.

Aberto, pois permite que novas entidades ingressem na infraestrutura, mesmo não havendo acordo formal de serviço entre elas, bastando para isso possuir uma forma de ser endereçada (e-mail). Compartilhada porque não tem um único proprietário, todos são livres para usá-la, desde que de acordo com as prerrogativas legais para a prática médica, em particular, radiológica. Ademais, há liberdade para desenvolver soluções com base em protocolos públicos, incluindo os do DICOMFLOW, além da infraestrutura de e-mail e demais protocolos da Internet. Heterogênea porque qualquer instituição, independentemente de sua estrutura interna, pode fazer parte da infraestrutura. Por fim, evolutiva, uma vez que os protocolos desenvolvidos na arquitetura são constituídos de serviços atômicos, possibilitando uma maior composição entre esses, permitindo o desenvolvimento de cenários de aplicação e modelos de negócio não planejados *a priori*. Tais propriedades em conjunto, portanto, propiciam um espaço social onde há livre concorrência tanto para a prática radiológica quanto para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que a suporte.

O principal fator que distingue o DICOMFLOW dos trabalhos que utilizam os perfis de integração IHE é a sua arquitetura não pressupor autoridade ou elementos centrais, sendo seu controle e coordenação distribuídos. A presença de elementos centralizadores 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.

Apesar do DICOM e-mail também favorecer o cultivo de uma II para prática radiológica, o DICOMFLOW possui vantagens em relação a ele. Objetos DICOM carregam um considerável volume de informações e enviá-los através do e-mail torna necessário o uso de técnicas de fragmentação e verificação de integridade, fato que sobrecarrega o protocolo DICOM e-mail. O modelo proposto contorna essa sobrecarga por ser assimétrico, que separa a comunicação entre entidades (e-mail) e o acesso aos objetos compartilhados (e.g. HTTP/REST). Além disso, o DICOM e-mail tem dificuldades para atender a telerradiologia de emergência, pois requer análise significativa de suas especificações para propor uma solução [26]. Por outro lado, o DICOMFLOW possibilita a criação de soluções capazes de atender telerradiologia de emergência porque sua especificação prioriza o baixo acoplamento entre envio e transmissão de imagens.

7. CONCLUSÃO

O DICOMFLOW é uma solução descentralizada e flexível

que pode ser usada em uma gama de aplicações em telerradiologia, favorecendo o cultivo de uma II para prática radiológica. A especificação de seus serviços é simples, permitindo a variada composição para formação novos modelos de negócio. Como trabalhos futuros, será efetuada uma análise aprofundada dos possíveis cenários e tecnologias *OpenSource* para implementação do módulo de transmissão, objetivando eficiência. O grupo de trabalho do DICOMFLOW está aberto à cooperação de indivíduos, organizações e parceiros nacionais e internacionais.

8. 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.

9. REFERÊNCIAS

- [1] Dicomflow, 2015. "www.dicomflow.org".
- [2] M. Aanestad and O. Hanseth. Implementing open network technologies in complex work practices: a case from telemedicine. In *Organizational and social perspectives on information technology*, pages 355–369. Springer, 2000.
- [3] K. W. Bonne. Where in the world is xds and cda. Google Maps, 2015. "https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=zXd445XclVCg.kn5LlvGtp1Uk".
- [4] G. C. Bowker, K. Baker, F. Millerand, and et al. Toward information infrastructure studies: Ways of knowing in a networked environment. In *International handbook of internet research*, pages 97–117. Springer, 2010.
- [5] P. M. de Azevedo-Marques and S. C. Salomão. Pacs: sistemas de arquivamento e distribuição de imagens. *Revista Brasileira de Física Médica*, 3(1), 2009.
- [6] P. N. Edwards, S. J. Jackson, C. P. Knobel, and et al. Understanding infrastructure: Dynamics, tensions, and design. 2007.
- [7] U. Engelmann, B. Schütze, A. Schröter, and et al. Dicom e-mail: Germany's minimum standard for teleradiology. In *International Congress Series*, volume 1281, pages 926–931. Elsevier, 2005.
- [8] J. F. M. Figueiredo and G. H. M. B. Motta. Socialrad: an infrastructure for a secure, cooperative, asynchronous teleradiology system. *Studies in Health Technology and Informatics*, 192:778–782, 2013.
- [9] O. Hanseth and K. Lyytinen. Design theory for dynamic complexity in information infrastructures: the case of building internet. *Journal of Information Technology*, 25(1):1–19, 2010.
- [10] H. Huang. *PACS and imaging informatics: basic principles and applications*. John Wiley & Sons, 2010.
- [11] Integrating the Healthcare Enterprise. *IT Infrastructure Technical Framework 1-10*, 2014. "http://www.ihe.net".
- [12] Integrating the Healthcare Enterprise. *IT Infrastructure Technical Framework 1-18*, 2014. "http://www.ihe.net".
- [13] Integrating the Healthcare Enterprise. *Radiology Technical Framework 1-18*, 2014. "http://www.ihe.net".
- [14] Integrating the Healthcare Enterprise. *Radiology Technical Framework 1-29*, 2014. "http://www.ihe.net".
- [15] D. C. Levin, V. M. Rao, L. Parker, and et al. Bending the curve: the recent marked slowdown in growth of noninvasive diagnostic imaging. *American Journal of Roentgenology*, 196(1):W25–W29, 2011.
- [16] T. Marques Godinho, C. Viana-Ferreira, L. Bastiao Silva, and et al. A routing mechanism for cloud outsourcing of medical imaging repositories. *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, 20(1):367–375, Jan 2016.
- [17] G. H. M. B. Motta. Towards social radiology as an information infrastructure: Reconciling the local with the global. *JMIR medical informatics*, 2(2):e27, 2014.
- [18] National Electrical Manufacturers Association. *Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM)*, 2011. "http://medical.nema.org/standard.html".
- [19] R. Noumeir. Sharing medical records: The xds architecture and communication infrastructure. *IT Professional*, (4):46–52, 2010.
- [20] M. A. L. Oliveira. Formação de uma infraestrutura de informação para telerradiologia: uma série de estudos de caso baseados na teoria de projeto para complexidade dinâmica. Master's thesis, Universidade Federal da Paraíba, 2015.
- [21] O. S. Pinykh. *Digital imaging and communications in medicine (DICOM): a practical introduction and survival guide*. Springer, 2009.
- [22] L. S. Ribeiro, C. Viana-Ferreira, J. L. Oliveira, and et al. Xds-i outsourcing proxy: ensuring confidentiality while preserving interoperability. *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, 18(4):1404–1412, 2014.
- [23] D. Rickles, P. Hawe, and A. Shiell. A simple guide to chaos and complexity. *Journal of epidemiology and community health*, 61(11):933–937, 2007.
- [24] S. A. Sheard and A. Mostashari. Principles of complex systems for systems engineering. *Systems Engineering*, 12(4):295–311, 2009.
- [25] S. L. Star and K. Ruhleder. Steps toward an ecology of infrastructure: Design and access for large information spaces. *Information systems research*, 7(1):111–134, 1996.
- [26] G. Weisser, U. Engelmann, S. Ruggiero, and et al. Teleradiology applications with dicom-e-mail. *European radiology*, 17(5):1331–1340, 2007.
- [27] G. Weisser, M. Walz, S. Ruggiero, and et al. Standardization of teleradiology using dicom e-mail: recommendations of the german radiology society. *European radiology*, 16(3):753–758, 2006.
- [28] Working Group on Information Technology of the German Radiology Society. *Recommendation for a Standardized Teleradiology Transmission Format*, 2013. "www.tele-x-standard.de".
- [29] J. Zhang, Y. Yang, K. Zhang, and et al. Design of image sharing and exchanging for cross-enterprise and cross-domain collaborative healthcare in shanghai. In *SPIE Medical Imaging*, pages 79670R–79670R. International Society for Optics and Photonics, 2011.