

Formação de uma infraestrutura de informação para telerradiologia: um estudo de múltiplos casos baseado na teoria de projeto para complexidade dinâmica

Forming an information infrastructure for teleradiology: a multiple case study based on the design theory for dynamic complexity

La formación de una infraestructura de información de telerradiología: un estudio de casos múltiples sobre la base de la teoría del diseño de complejidad dinámica

Marcio Adamec Lopes Oliveira¹, Gustavo Henrique Matos Bezerra Motta²

RESUMO

Descritores:

Telerradiologia; Teoria de Sistemas; Infraestrutura

Objetivo: Compreender, por meio de uma série de estudos de caso, os obstáculos que dificultam o surgimento de uma infraestrutura de informação (II) para distribuição de estudos de imagens de forma ampla e flexível, atenuando os limites locais e globais para a prática radiológica. **Métodos:** Aplicou-se a teoria de projeto para complexidade dinâmica em infraestrutura de informação para casos selecionados, a fim de interpretá-los de acordo com as regras de projeto da teoria. **Resultados:** Observou-se nos casos estudados arquiteturas com acoplamento forte entre seus componentes sociotécnicos e, conseqüentemente, baixa capacidade de adaptação. **Conclusão:** A reduzida capacidade de adaptação explica a dificuldade de formação de uma infraestrutura de informação para distribuição de estudos de imagens que possibilite conectar uma quantidade crescente de componentes heterogêneos com abrangência não limitada. Destaca-se a importância de projetar soluções com capacidade de variação suficiente para possibilitar a máxima adaptação sociotécnica.

ABSTRACT

Keywords: Teleradiology; Systems Theory; Infrastructure

Objective: To understand, through a series of case studies, the obstacles that hinder the emergence of an information infrastructure (II) for distribution of imaging studies in a broad and flexible way, attenuating the local and global limits for radiological practices. **Methods:** The design theory for dynamic complexity in II was applied to selected cases, in order to interpret them according to the design rules of the theory. **Results:** It was observed in the cases studied architectures with tight coupling among their sociotechnical components and consequently low adaptability. **Conclusions:** The low adaptability explains the difficulties for the formation of an information infrastructure to distribute imaging studies that allows the connection of an increasing number of heterogeneous components in an unbounded scope. We highlight the importance of designing solutions having enough variety capacity as to enable a maximum of sociotechnical adaptability.

RESUMEN

Descriptores:

Telerradiología; Teoría de sistemas; Infraestructura

Objetivo: Comprender a través de una serie de estudios de casos, obstáculos que dificultan la aparición de una infraestructura de información (II) para una amplia y flexible distribución de los estudios de imagen, lo que reduce los límites locales y globales para la práctica radiológica. **Métodos:** Se aplica la teoría de diseño para complejidad dinámica en la infraestructura de información para casos seleccionados con el fin de interpretarlos de acuerdo con las reglas de diseño de la teoría. **Resultados:** Se observó en los casos estudiados arquitecturas con acoplamiento fuerte entre sus componentes socio-técnicos y consiguiente, baja capacidad de adaptación. **Conclusión:** La capacidad reducida de adaptación explica la dificultad de la formación de una infraestructura de información a distribución de estudios de imagen que permite la conexión de un número creciente de componentes heterogéneos con cobertura no limitada. Se destaca la importancia de soluciones de diseño con capacidad de variación suficiente para permitir la máxima adecuación socio-técnica.

¹ Programa de Pós-Graduação em Informática - PPGI da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa (PB), Brasil.

² Professor Associado no Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa (PB), Brasil.

INTRODUÇÃO

Pesquisas recentes ressaltam a importância da dinâmica incorporada ao desenvolvimento, expansão e integração dos sistemas de saúde sob a perspectiva das infraestruturas de informação (II). Por exemplo, a análise, durante dois anos, do processo de criação de uma arquitetura em escala nacional para distribuição de serviços de saúde por toda a Noruega⁽¹⁾ e a investigação de um projeto para compartilhamento de informações clínicas entre sistemas de registro eletrônico do paciente na Dinamarca⁽²⁾. Uma infraestrutura de informação é definida como um sistema sociotécnico evolutivo, heterogêneo, aberto, seguro e compartilhado, composto por recursos de tecnologia da informação (TI) (aplicações, plataformas e outras infraestruturas, recursivamente organizadas), além de usuários, operações e comunidades de projetistas, possuindo também elementos de regulação⁽³⁾. Denomina-se tal conjunto de componentes de base instalada³, isto é, os componentes sociais e técnicos existentes numa comunidade. O avanço das pesquisas em II⁽³⁻⁴⁾, notadamente em teorias de projeto⁽⁵⁾ para II, baseadas na teoria dos sistemas adaptativos complexos (CAS)^(3,6), permitem abordar adequadamente a complexidade e a dinâmica dos sistemas de saúde, diferentemente dos métodos tradicionais da engenharia de software e de sistemas, que têm enfoques altamente centralizados e rigidamente hierarquizados⁽⁶⁾.

Atualmente, prover a telerradiologia⁽⁷⁾ pressupõe conexões rígidas entre parceiros, baseadas em tecnologias proprietárias, em geral não escaláveis, como as baseadas em elementos centralizadores ou aquelas que usam redes privadas virtuais (VPN). Tal rigidez dificulta a formação espontânea, dinâmica e imprevisível⁽⁶⁾, de redes de telerradiologia, que poderiam contribuir, por exemplo, para aumentar a quantidade e a qualidade de laudos em locais com carência de profissionais especializados. A dinâmica envolvida nessa formação espontânea – que leva em consideração associações não previstas⁽⁶⁾ – consiste em permitir que redes de telerradiologia, inicialmente limitadas a um determinado número de profissionais e organizações de saúde, sejam capazes de estabelecer comunicação com outras redes de telerradiologia de forma não limitada. Isso requer facilidade (e.g. a capacidade de fornecer pontos de conexão que possam suportar o estabelecimento de comunicação com outras redes de telerradiologia com um mínimo de alteração sociotécnica), efetividade (cumprir com as funções locais e possibilitar a contribuição com outras redes de telerradiologia) e segurança (fornecer meios para garantir a segurança das informações, seja local ou remota, respeitando os requisitos legais e técnicos de cada participante).

Os sistemas de comunicação e arquivamento de imagens (PACS) se baseiam no padrão DICOM para distribuição de imagens localmente. Por outro lado, a telerradiologia requer mecanismos adicionais (e.g. VPNs) para efetivar a distribuição de imagens, haja vista as limitações do DICOM na transmissão em redes de longa distância. Entretanto, a necessidade de cuidados com o

paciente requer uma flexibilidade infraestrutural não prevista nos modelos atuais de telerradiologia. Embora numerosas soluções para telerradiologia⁽⁸⁻¹⁴⁾ tenham sido aplicadas, ainda não é possível observar um modelo de telerradiologia nos moldes de uma II. Nesse caso, ela possibilitaria reunir e conectar uma quantidade crescente de componentes de naturezas diversas com abrangência não limitada, capaz de evoluir e se adaptar continuamente em decorrência da ascensão tecnológica e de mudanças no contexto socioeconômico, com regulação e controle descentralizados, apta a associações inicialmente incompatíveis, sejam elas pactuadas ou não. Este estudo aplica a teoria de projeto para complexidade dinâmica (TPCD) em II⁽³⁾ na investigação do atual cenário das infraestruturas para telerradiologia, visando explicar *a posteriori* se os processos de projeto dessas infraestruturas atenderam ou não aos princípios e regras da teoria. Espera-se com essa explicação um melhor entendimento das lacunas e desvios em relação ao previsto na teoria que, se tratadas adequadamente, podem contribuir para o surgimento de uma II para telerradiologia.

MÉTODOS

O estudo realizado neste trabalho se caracteriza como um estudo exploratório para múltiplos casos que visa descrever explanações concorrentes para um mesmo conjunto de fenômenos⁽¹⁵⁾, buscando uma compreensão epistemológica das razões pelas quais ainda não se observa uma II para telerradiologia. Neste sentido, foram selecionadas descrições empíricas de casos de aplicação de telerradiologia, de modo a analisá-los segundo uma teoria para obter uma interpretação da realidade.

Procedeu-se, inicialmente, a escolha de uma teoria que conseguisse extrair conhecimento a partir da exploração dos casos estudados⁽¹⁵⁾, levando em consideração a dinâmica das infraestruturas envolvidas em sistemas de saúde⁽⁶⁾. Foi selecionada a TPCD em II⁽³⁾. Ela é constituída de princípios e regras de projeto que ajudam a interpretar os casos, auxiliando na tradução de descrições empíricas e considerando a evolução das II. A TPCD possui características relevantes ao estudo da evolução, expansão e adaptação das II, respeitando os limites infraestruturais dos casos envolvidos. Também considera aspectos de reorganização e recombinação de elementos, que visam a flexibilidade e o crescimento da infraestrutura, o que favorece a composição de grupos de cooperação de formas não previstas. Em virtude disso, considerou-se tal teoria adequada para estudar infraestruturas para telerradiologia.

Em adição, definiram-se critérios de escolha dos casos visando selecionar descrições empíricas ricas. Um caso é relevante quando efetivamente pôde ser experimentado em uma ou múltiplas comunidades, com ou sem sucesso, e que, além disso, possibilitasse a discussão em torno dos componentes e fenômenos envolvidos em sua formação, sejam sociais ou técnicos. Assim, definiram-se os seguintes critérios de seleção dos casos: aqueles com soluções para telerradiologia implementadas em alguma comunidade ou região; aqueles cujos documentos coletados tivessem

informações suficientes, de modo a permitir o estudo e; aqueles que permaneceram após o encerramento dos projetos que lhes deram início.

Portanto, atingir o objetivo deste trabalho envolveu as seguintes atividades: a definição da teoria a ser utilizada para interpretação dos dados empíricos; o estabelecimento dos critérios de seleção dos casos para estudo; a seleção dos casos com base nos critérios definidos; a identificação das respectivas fontes de dados empíricos; a coleta e análise dos documentos e outras informações para realizar o estudo dos casos selecionados; a interpretação das fontes, segundo os princípios e regras de projeto da TPCD em II.

A seleção dos casos foi realizada a partir de consultas nos portais de pesquisa Google Acadêmico, LILACS, IEEE Explorer, ACM Digital Library, Elsevier Science Direct, Springer e PubMed. Para os casos selecionados, além de artigos científicos, utilizou-se como fontes de dados empíricos: documentos de padrão, relatórios técnicos, informações de sites na Internet relacionados aos casos e provenientes de consultas por e-mail realizadas com pesquisadores responsáveis.

A subseção a seguir apresenta sucintamente a teoria de projeto para complexidade dinâmica em II, com respectivos princípios e regras de projeto, seguida da definição de uma escala de referência para indicar o nível de satisfação a uma regra de projeto de acordo com a interpretação dos casos estudados.

Teoria de Projeto para Complexidade Dinâmica em Infraestrutura de Informação

O aumento crescente na complexidade nos recursos de TI dificulta seu controle e evolução, de modo que

metodologias de projeto tradicionais não conseguem lidar com tal complexidade, abrindo novas possibilidades de tratamento desses sistemas complexos. A TPCD em II⁽³⁾ consiste em princípios e regras, envolvendo elementos técnicos, sociais e seus relacionamentos, visando guiar o projeto para permitir o crescimento e a adaptação da II como um sistema auto-organizável. Em vez de seguir o enfoque tradicional de “projetar do zero”, adota a abordagem de “cultivar” uma base instalada, isto é, os elementos que já existem, para promover seu crescimento dinâmico por meio de regras de projeto para *bootstrap*⁽³⁾ e crescimento adaptativo⁽³⁾. Isto é, o desenvolvimento de uma II lida com formação de uma infraestrutura que se auto reforça (*bootstrap*) a partir de uma base instalada, e em como sustentar seu crescimento (adaptação) para evitar ficar paralisado devido à inércia da própria base instalada.

A teoria possui 19 regras de projeto distribuídas por 5 princípios (Tabela 1) e visa guiar projetistas na criação, compreensão e condução de projetos de II, tratando dois problemas principais⁽³⁾: o problema do *bootstrap* e o problema da adaptabilidade. Tratar o problema do *bootstrap* objetiva provocar o interesse em uma base instalada, suscitando um atrator que sustente seu crescimento. Quanto ao tratamento do problema da adaptabilidade, o objetivo é alcançar um sistema com grande capacidade de variação na composição de seus elementos, pois será mais adaptável a uma diversidade de contextos sociotécnicos. Um sistema assim apresenta estrutura modular com conexões fracas entre seus elementos e, portanto, é mais adaptável às demandas de sua base instalada e menos suscetível a aprisionamento

Tabela 1 – Princípios e regras de projeto da TPCD em infraestruturas de informação⁽³⁾.

Problema de Projeto	Princípio de Projeto (PP)	Regra de Projeto (RP)
BOOTSTRAP Objetivo de projeto: Gerar atratores que alavanquem o crescimento da base instalada.	1. Projetar inicialmente para utilidade direta.	RP1. Destinar recursos de TI para pequenos grupos. RP2. Criar recursos de TI diretamente úteis sem a base instalada. RP3. Criar recursos de TI simples para usar e implementar. RP4. Projetar recursos de TI um para muitos em vez de muitos para muitos.
	2. Construir sobre a base instalada.	RP5. Projetar recursos de TI de forma que não requeira projetar e implementar novas infraestruturas de suporte. RP6. Distribuir sobre infraestruturas de transporte existentes. RP7. Construir gateways para infraestruturas de aplicação e serviço existentes. RP8. Usar Bandwagons associados com outras II.
	3. Expandir a base instalada por táticas persuasivas para ganhar momentum.	RP9. Usuários antes de funcionalidades –aumentar a base instalada sempre antes de adicionar funcionalidades. RP10. Melhorar qualquer recurso de TI dentro da II apenas quando necessário. RP11. Construir e alinhar incentivos tal que usuários tenham real motivação para usar recursos de TI da II de novas formas. RP12. Desenvolver comunidades de suporte e estratégias de governança flexíveis para feedback e aprendizado.
ADAPTABILIDADE Objetivo de Projeto: Construir o sistema para máxima adaptabilidade e geração de variedade, para evitar aprisionamento tecnológico.	4. Criar recursos de TI tão simples quanto possível.	RP13. Criar recursos de TI tão simples quanto possível, em termos de sua complexidade técnica e social, reduzindo conexões e custos de governança. RP14. Promover sobreposições parciais de funcionalidades de TI, em vez de incorporar todas elas em um só componente.
	5. Modularizar a II.	RP15. Dividir a II recursivamente sempre como infraestruturas de transporte, suporte e aplicação. RP16. Utilizar gateways entre versões de padrões. RP17. Utilizar gateways entre camadas. RP18. Construir gateways entre infraestruturas. RP19. Desenvolver estratégias de transição em paralelo com gateways.

tecnológico e reversos salientes⁽³⁾. Um reverso saliente emerge quando componentes de um sistema ficam para trás ou fora de fase em relação a outros componentes, limitando de alguma forma a sua expansão⁽³⁾. A teoria promove o uso de *gateways* como elemento chave para obtenção da adaptabilidade. Isso porque *gateways* conectam sistemas dissimilares em uma rede, permitindo que novos sistemas se integrem a uma infraestrutura existente com facilidade e um mínimo de restrições.

A escala de referência, apresentada a seguir, foi criada para indicar o nível de satisfação às regras de projeto descritas na Tabela 1, a partir da interpretação dos casos estudados. A escala foi dividida em quatro partes, selecionadas de acordo com o nível de satisfação avaliado para cada uma das regras de projeto, a saber:

Fortemente evidenciada (+++ ou 1): aplica-se quando a regra de projeto da TPCD é facilmente observada. A instância da regra presente no caso satisfaz sem ressalvas a regra de projeto;

Evidenciada (++ ou 0,67): aplica-se quando a regra de projeto é observada, mas a instância da regra de projeto no caso é satisfeita com ressalvas;

Fracamente evidenciada (+ ou 0,33): aplica-se quando a regra foi observada de forma mais frágil, com evidência fraca de satisfação;

Não evidenciada (NE ou zero): aplica-se quando nenhuma instância da regra de projeto da TPCD pôde ser observada;

Contraditória (- ou -1): aplica-se quando ocorrem fatores que atuam contrariamente ao que foi proposto pela regra de projeto analisada.

Numericamente, a escala varia de -1 a 1. O objetivo dessa escala numérica é permitir visualizar graficamente o nível de satisfação das regras de projeto, a fim de

permitir uma melhor observação dos resultados e não, propriamente, quantificá-las.

RESULTADOS

A aplicação dos critérios de seleção resultou na escolha de três casos para estudo: o DICOM e-mail na Alemanha⁽¹³⁾, que mostra a formação de redes de telerradiologia tendo o e-mail como mecanismo de transporte de estudos de imagens médicas; o caso da implantação do PACS pelo Reino Unido⁽¹⁶⁾, que resultou em diversos PACS regionais; e o caso da Rede Catarinense de Telemedicina (RCTM)⁽¹⁴⁾ no Brasil, que utiliza *bridges* para conectar instituições a um portal web para distribuição de estudos de imagens médicas. As próximas subseções descrevem sucintamente os casos e a Tabela 2 traz o sumário da interpretação deles de acordo com o nível de satisfação às regras de projeto da TPCD em II.

DICOM e-mail na Alemanha

A dificuldade para desenvolver a telerradiologia na Alemanha devido à falta de um padrão de interoperabilidade entre organizações e profissionais de saúde motivou a decisão de usar a infraestrutura de e-mail como solução para transmissão de imagens médicas no país⁽¹²⁾. O Grupo de Trabalho em TI da Sociedade Alemã de Radiologia (@GIT), entre 2003 e 2005, buscou uma solução não proprietária que pudesse ser integrada a uma organização de saúde sem alterar seu fluxo de trabalho radiológico, arquitetura de *firewalls* e políticas locais de segurança, sendo ainda capaz de estabelecer conexões *ad hoc* (i.e., com parceiros arbitrários) com poucas mudanças em configurações locais.¹² Após considerar várias opções tecnológicas (e.g., e-mail, SSH, SFTP, TLS, VPN), o

Tabela 2- Sumário da interpretação dos casos de acordo às regras de projeto.

Princípios de Projeto para o problema do BOOTSTRAP	Regra de Projeto	Nível de evidência		
		DICOM e-mail na Alemanha	PACS no Reino Unido	RCTM no Brasil
1. Projetar para utilidade direta	RP1	+++	-	+++
	RP2	+++	+++	+++
	RP3	+++	-	+++
	RP4	+++	+++	+++
2. Construir sobre a base instalada	RP5	+++	-	++
	RP6	+++	-	++
	RP7	+++	NE	+++
	RP8	+++	++	+++
3. Expandir a base instalada por táticas persuasivas	RP9	+++	++	+++
	RP10	+++	+	+++
	RP11	+++	+	+++
	RP12	+++	++	+++
Princípios de Projeto para o problema da ADAPTABILIDADE				
4. Tornar os recursos de TI simples	RP13	+++	-	+
	RP14	+++	NE	++
5. Modularizar a II	RP15	++	++	++
	RP16	NE	NE	+++
	RP17	++	NE	+++
	RP18	+++	-	+
	RP19	NE	NE	NE

protocolo de e-mail foi escolhido por atender os requisitos estabelecidos. A partir daí, iniciou-se a definição da recomendação do protocolo DICOM e-mail como padrão, que utiliza o e-mail como mecanismo de transporte para transferir estudos de imagens como objetos anexados, registrados conforme o padrão DICOM MIME *type*, com criptografia e assinatura digital.

Duas grandes redes se destacaram no uso do DICOM e-mail: a rede do triângulo Rhein-Neckar, que partiu de 50 hospitais em 2005⁽¹³⁾ alcançando mais de 70 em 2013, além de 40 outros parceiros na região, incluindo médicos privados de especialidades diversas, uma prisão estadual e seus médicos; e a rede da região do Vale do Ruhr, explorada por uma empresa privada, contando com 152 participantes, dentre estes, 60 hospitais.

Há ainda redes menores de telerradiologia baseadas no DICOM e-mail, contudo, ressalta-se que a maioria das redes regionais na Alemanha ainda utiliza técnicas proprietárias, baseadas em VPN e *webservers*. Dois tipos de *gateways* foram construídos para integrar o DICOM e-mail com infraestruturas de serviços e aplicações nos seguintes cenários das instituições parceiras: sem PACS, PACS e/ou estações DICOM de diferentes fornecedores, todos com equipamentos de imagem compatíveis com DICOM¹³. Observa-se que o DICOM e-mail, na arquitetura modular em que se insere, atua como um *gateway* entre as camadas de aplicação e transporte.

Implantação de PACS pelo Reino Unido

Este estudo de caso descreve a implantação dos PACS nos países do Reino Unido, a fim de conectar e integrar suas organizações de saúde. Eles investiram consideravelmente em sua implantação e desenvolvimento, apoiados pelo Sistema Nacional de Saúde (NHS), nos níveis secundários e terciários de saúde. Cada um dos países avançou independentemente do outro em relação ao PACS⁽¹⁶⁾ em magnitudes de desenvolvimento diferentes, embora tenham terceirizado esse serviço com a contratação de fornecedores, a critério de cada um. Os PACS não eram o foco principal do Programa Nacional para TI, criado em 2002⁽¹⁶⁾. Na Inglaterra, antes de 2001, muitos hospitais não tinham PACS devido aos altos custos de implantação, entretanto, com o programa, houve um aumento de mais 127 estabelecimentos entre 2002 e 2007⁽¹⁶⁾, comprovados os benefícios trazidos pelo PACS em relação à gestão e ao compartilhamento estudos de imagens. Tal país adotou um modelo de armazenamento regional, dividindo o país em 5 regiões, cada uma com seu fornecedor PACS. A Escócia adotou um único fornecedor PACS que viabilizava armazenamento local e central, proporcionando o compartilhamento de dados unificado. No País de Gales, cada organização adotou uma solução a critério próprio, portanto sendo constituída de diferentes PACS⁽¹⁶⁾. A Irlanda do Norte aguardava a execução de um projeto, cuja previsão era ter um provedor PACS central, através de um único fornecedor. Uma tendência na comunidade do Reino Unido era adotar perfis IHE através do XDS-I⁽¹⁷⁾, objetivando interoperabilidade entre os países, devido à falta de padronização de troca de informações de paciente entre eles⁽¹⁶⁾.

A rede de telemedicina de Santa Catarina

Iniciada em 2005, a rede de telemedicina de Santa Catarina surgiu particularmente da necessidade de se evitar o deslocamento de pacientes entre cidades em busca de especialistas. Assumiu-se um modelo de telemedicina majoritariamente assíncrono, possibilitado com a implantação de equipamentos de captura de imagens nas cidades do interior e na criação de mecanismos de envio de estudos de imagens médicas e diagnósticos via Internet⁽¹⁴⁾.

A infraestrutura da rede compreende aplicações abrangendo uma gama de recursos de TI, desenvolvidas pela comunidade de desenvolvedores locais (e.g. projeto Cyclops⁽¹⁴⁾), como o *DICOMizer* – responsável por permitir a exportação de dados não DICOM para o Portal de Telemedicina, onde se situa um PACS central; o CyclopsDCMServer – responsável por receber imagens DICOM e não DICOM a partir de *Bridges* localizadas em instituições parceiras; as *Bridges* implantadas nessas instituições para coletar e distribuir as imagens e informações de pacientes ao PACS central; e o Portal de Telemedicina – aplicação web que centraliza os serviços oferecidos, incluindo uma variedade de componentes heterogêneos visando integração e cooperação, para permitir o diagnóstico rápido e colaborativo⁽¹⁸⁾. Assim, estudos de imagens gerados em equipamentos diversos puderam ser acessados via portal *web*, com criptografia, autenticação de usuários com certificação digital via *tokens*^(14,19). A rede iniciou-se em 2005 em hospitais de pouco mais de três cidades, com apoio da Secretaria de Saúde de Santa Catarina, em parceria com a Universidade Federal desse estado. Gradualmente, incorporam-se mais cidades, chegando em 2012 a 291 municípios, envolvendo 404 instituições de saúde. A legislação no estado, entretanto, não permite que instituições de saúde privadas participem da rede.

DISCUSSÃO

A dinâmica dos casos revela a complexidade dos sistemas de saúde, desde seu planejamento, inicialização até sua evolução. A expansão e evolução desses sistemas é facilitada ou restringida pelos componentes que já existem e decisões tomadas no início do projeto, e mesmo durante sua evolução, produzem efeitos irreversíveis no futuro. Nos casos estudados, observou-se alguns fenômenos importantes: aprisionamento tecnológico e reversos salientes⁽³⁾. Tais manifestações norteiam a trajetória de um sistema e interferem em sua evolução e escalabilidade. As Figuras 1, 2 e 3 exemplificam consequências do fenômeno do reverso saliente nos estudos de caso. Observou-se que, exceto para o DICOM e-mail, as redes apresentam um nível de governança centralizada para determinar a incorporação de elementos diversos à infraestrutura, fato que, se por um lado encoraja a ordem do sistema, por outro lado mantém a rede em um nível de inércia desfavorável à recombinação, reuso e inovação, limitando a sua área de abrangência e expansão.

Entretanto, esse controle centralizado, que determina quem pode participar e/ou projetar para essas redes, vai contra um modelo de controle distribuído por

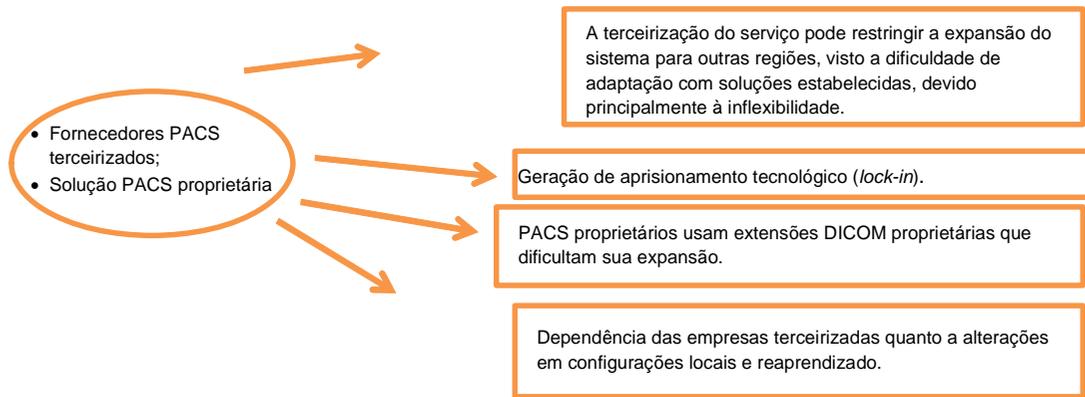


Figura 1 – Consequências dos reversos salientes no caso do Reino Unido.

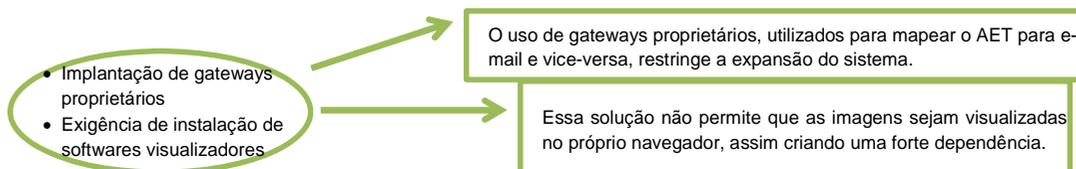


Figura 2 – Consequências dos reversos salientes no caso da Alemanha.



Figura 3 – Consequências dos reversos salientes no caso do Reino Unido.

comunidades diversas, com mais autonomia de gestão e menos barreiras sociais e técnicas, favorecendo o surgimento de novas capacidades e comunidades. Esse último tipo de controle distribui responsabilidades, favorecendo adaptabilidade local de modo ao sistema ser capaz de acomodar um número crescente e não limitado de componentes sociais e técnicos interdependentes. O Gráfico 1 ilustra uma visão alternativa para os resultados apresentados na Tabela 2, do nível de satisfação avaliado para cada regra de projeto em cada caso. Percebe-se que os casos descritos na Alemanha e Brasil percorrem o eixo superior esquerdo (+++, ou 1) numa frequência superior ao caso descrito no Reino Unido, significando que, de acordo com a TPCD em II, esses dois casos tiveram um processo de bootstrap dentro ou próximo ao esperado para uma II. Porém, tal tendência não é tão forte em relação à adaptação (eixo superior direito), levando-se em consideração que essas redes se originaram para corrigir deficiências locais. Assim, se as compararmos com a gênese da Internet⁽³⁾, exemplo canônico de uma II, essas redes se encontram em estágios embrionários, podendo emergir como infraestruturas de informação em algum momento, a depender da evolução de suas capacidades de adaptação em relação ao contexto sociotécnico. Por outro lado, o caso do Reino Unido mostra uma variação acentuada diante das regras de projeto, principalmente em seu processo de bootstrap, com ações contraditórias a tais regras. Isso mostra que a

preocupação nesse caso não foi gerar capacidades de TI que atraíssem mais e mais comunidades e componentes diversos de forma crescente, mas apenas corrigir carências específicas do NHS relativas a gerenciamento de estudos de imagens.

Similarmente, há uma variação acentuada no gráfico para o problema da adaptabilidade porque pouca atenção é dada a modularidade e uso de *gateways*. Assim, a infraestrutura projetada no Reino Unido não se adequa ao objetivo de tratamento do problema da adaptabilidade: projetar o sistema para a máxima adaptabilidade e variação, para evitar aprisionamento tecnológico³. Alcançar tal objetivo reforçaria a sustentabilidade do sistema, como pôde ser melhor observado no caso da Alemanha, na qual comunidades e componentes de naturezas diversas, além de infraestruturas heterogêneas fomentam sua condição futura.

Modelos de telerradiologia, como o que foi empregado no Reino Unido, rapidamente alcançam o aprisionamento tecnológico e tendem a ficar estagnados e confinados, técnica e socialmente, a uma região específica, dificultando a ocorrência do efeito manada (*Bandwagon*)⁽³⁾, que leva à adoção espontânea de uma solução por uma ampla região. Tanto no caso da Alemanha quanto no caso do Brasil, as escolhas iniciais favoreceram a migração das soluções para outros locais, dentro de uma determinada região, visto que elas tiveram a preocupação no aproveitamento de recursos já existentes. Entretanto, o

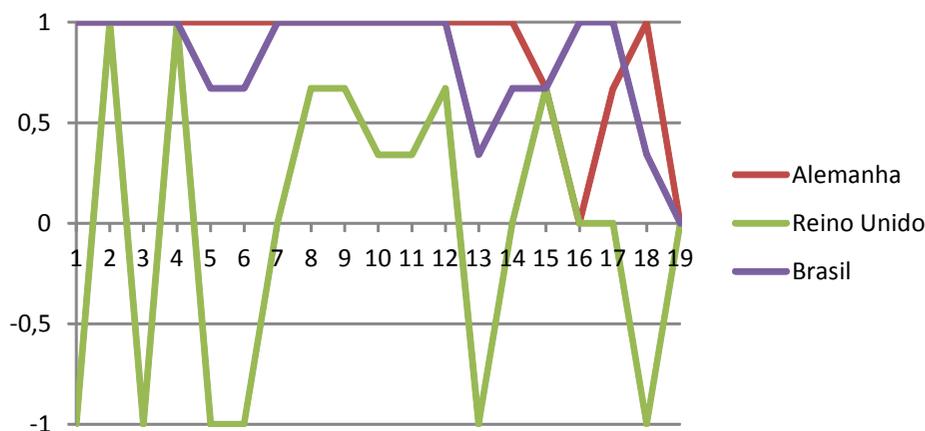


Gráfico 1– Níveis de satisfação das regras de projeto em cada caso.

acoplamento geral em ambas ainda precisa se tornar mais fraco, de modo a beneficiar e sustentar seu crescimento, facilitando a observação do fenômeno das redes livres de escala, com um número crescente e não limitado de conexões e poucos *hubs*, favorecendo ainda a disseminação do modelo de solução para outras regiões. Um acoplamento mais fraco possibilitará à cooperação entre organizações, ou entre elas e profissionais de saúde de uma forma não prevista e dinâmica. É importante enfatizar que, apesar das questões abordadas contribuírem de uma forma geral com a discussão sobre a escolha de soluções para telerradiologia e colaborar na compreensão dessas infraestruturas do ponto de vista sociotécnico, as conclusões deste estudo limitam-se aos casos estudados.

CONCLUSÃO

A reduzida capacidade de adaptação (satisfação às regras para adaptabilidade) observada nos três casos estudados

explica a dificuldade de formação de uma II para distribuição de imagens que possibilite reunir e conectar uma quantidade crescente de componentes de naturezas diversas com abrangência não limitada. Os casos possuem arquitetura com acoplamento forte, com baixa capacidade para aceitar novos recursos, aplicações e plataformas heterogêneas, interoperando com outras soluções baseadas em outros modelos de infraestrutura, de forma a poder desencadear um processo natural de disseminação não limitado. Em adição, as soluções adotadas foram projetadas para atender demandas sociotécnicas locais. Particularmente, para os casos do Reino Unido e do Brasil, o modelo de governança é centralizado, o que também dificulta sua disseminação em outros locais e contextos. Portanto, ao adotar ou criar soluções para telerradiologia, é importante que se busque uma capacidade de variação (flexibilidade) que permita a máxima adaptação durante seu ciclo de vida, tanto técnica como social, a fim de favorecer a formação de uma II para a prática radiológica.

REFERÊNCIAS

- Grisot M, Vassilakopoulou P. Creating a National E-Health infrastructure: the challenge of the installed base. *Proceeding of the European Conference on Information Systems*. 2015 May 26-29. Münster, Germany; 2015.
- Jensen TB. Design Principles for Achieving Integrated Healthcare Information Systems. *J. Health Inform.* 2013;19(1):29-45.
- Hanseth O, Lyytinen K. Design theory for dynamic complexity in information infra-structures: the case of building Internet. *J Inf Technol.* 2010;25(1):1-19.
- Bowker GC, Baker K, Millerand F, Ribes D. Toward information infrastructure studies: ways of knowing in a networked environment. *Int Handb Intern Res.* 2010:97-117.
- Gregor S, Jones D. The anatomy of a design theory. *J Assoc Inf Syst.* 2007; 8(5):312-35.
- Paina L, Peters DH. Understanding pathways for scaling up health services through the lens of complex adaptive systems. *Health Policy Plan.* 2012; 27(5):365-73.
- Thrall JH. Teleradiology. History and clinical applications. *Radiology.* 2007; 243(3):613-7. Part I.
- Figueiredo JFM, Motta, GHMB. SocialRAD: an infrastructure for a secure, cooperative, asynchronous teleradiology system. *Stud Health Technol Inform.* 2013;192:778-82.
- Lipton P, Nagy P, Sevinc G. Leveraging Internet technologies with DICOM WADO. *J Digit Imaging.* 2012;25(5):646-52.
- Silva LAB, Costa C, Oliveira JL. DICOM relay over the cloud. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2013;8(3):323-33.
- Pinheiro MG, Canalli HL, Figueiredo LR, Elias Júnior J. Ambiente computacional para ensino de radiologia e diagnóstico por imagem: uma proposta para arquivado didático. *J. Health Inform.* 2009;1(2):43-52.
- Engelmann U, Schütze B, Schröter A, Weisser G, Walz M, Kammerer M, et al. DICOM E-mail: Germany's minimum standard for teleradiology. *Proceeding of the International Congress Series.* 2005 Jun;1281:926-31.
- Weisser G, Engelmann U, Ruggiero S, Runa A, Schröter A, Baur S, et al. Teleradiology applications with DICOM e-mail. *Eur Radiol.* 2007;17(15):1331-40.
- Von Wangenheim A, Junior CLB, Wagner HM, Cavalcante C. Ways to implement large scale telemedicine: the Santa Catarina experience. *Lat Am J Telehealth.* Belo Horizonte. 2009;1(3):364-77.
- Yin RK. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 2a ed. Porto Alegre: Bookman; 2001.
- Sutton LN. PACS and diagnostic imaging service delivery-A UK perspective. *Eur J Radiol.* 2011;78(2):243-9.
- Bortolon S, Berger M, Almeida A. Uma Proposta de Integração de Sistema GED a um Repositório Comunitário IHE Brasileiro. In: *Anais do XI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde – CBIS; 2008 Nov 29-Dez 3. Campos do Jordão, SP; 2008.*
- Von Wangenheim A, Junior CLB, Andrade R, Giuliano ICB, Borgatto AF, Andrade DF. Implementing DICOM structured reporting in a large-scale telemedicine network. *Telemed J E Health.* 2013;19(7):535-41.
- Maia RS, Von Wangenheim A, Nobre LF. A Statewide Telemedicine Network for Public Health in Brazil. *Proceedings of the 19th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems.* 2006 Jun 22-23. Salt Lake City, Utah. 2008. p. 495-500.