

IPV - ESTGV |



Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



Para o meu filho, a minha esposa  
e todos os inovadores destemidos em *e-Health*

*Stay Hungry. Stay Foolish.*



---

# RESUMO

A integração de sistemas é um tema sempre actual na temática das tecnologias de informação. Desde há muito tempo que as grandes empresas identificaram a necessidade de integrar dados de diferentes sistemas, criando mais valor para os seus negócios.

Alguns sectores da indústria estão claramente mais avançados do que outros no que diz respeito à integração de sistemas. Alguns factores, como a concorrência e competitividade mais agressiva em alguns mercados, foram os catalisadores desses avanços tecnológicos. A indústria da saúde não foi, infelizmente, um dos sectores onde se registaram grandes avanços na integração de sistemas. Foi, no entanto, onde se registou uma explosão de normas e protocolos que suportam as diversas disciplinas da medicina, como por ex, a Radiologia. Essas normas e protocolos permitiram dotar a medicina de meios mais rigorosos de produzir diagnósticos e encontrar curas para as mais diversas patologias.

Existem muitos produtos que adoptam estas normas. As organizações foram, progressivamente, adquirindo esses produtos mas sem grande preocupação da eventual necessidade da integração. A disciplina da Radiologia é uma das disciplinas onde se verifica, ainda hoje, uma enorme diversidade de equipamentos e sistemas de informação mas onde se encontra desafios consideráveis no que diz respeito à integração. Foram esses desafios que despoletaram o interesse de investigação e cujos resultados se partilham nesta dissertação.



---

# ABSTRACT

Systems integration it's always a current topic in information technology. Since a long time the biggest companies identified the need to integrate data from different systems and create value for their businesses.

Some industries are clearly more advanced when it comes to systems integration. Fierce competition and the need to keep a competitive edge boosted the development of this technology. The healthcare industry was not, unfortunately, one of the industries with relevant developments. While this may be true, it is the industry richest in standards and protocols supporting multiple areas like Radiology, for example. All of those standards and protocols have contributed to more accurate and strict diagnosis in healthcare, ultimately leading to the cure of all kinds of pathologies.

There are many products that implement these standards. Organizations progressively acquired some of those products without relevant consideration on any integration requirements. Radiology is exactly one of those healthcare disciplines where it's easy to find a multitude of instruments and information systems, all of them with considerate challenges when it comes to integration. Those challenges triggered this research, whose findings are presented in this thesis.



---

# PALAVRAS CHAVE

Integração de Sistemas

Saúde

Radiologia

Ditado digital

Sistemas de reconhecimento de voz

Enterprise Service Bus

Health Service Bus

HL7

FHIR



---

# KEYWORDS

Systems integration

Healthcare

Radiology

Digital speech

Voice recognition systems

Enterprise Service Bus

Health Service Bus

HL7

FHIR



---

# AGRADECIMENTOS

Gostava de agradecer ao Prof. Doutor Paulo Tomé pela sua paciência e horas incontáveis a apoiar-me neste desafio. Mesmo quando eu próprio duvidei foi, principalmente, a sua ajuda e os seus contributos que me permitiram levar este trabalho até ao fim.

Durante o tempo em que colaborei com as unidades de patologia clínica e radiologia do Grupo BASE tive também a ajuda de algumas pessoas que importa mencionar. O Dr. Mário João Santos que sempre acreditou e contribuiu para a continuidade da minha formação, criando as condições para que fosse possível conciliar a carreira profissional com as lides académicas. O Dr. José João Maia, director da divisão de radiologia do Grupo BASE que, de forma incansável, me foi instruindo nos aspectos tecnológicos mais relevantes da disciplina. A Dra. Ana Novais, responsável do SMIC Boavista, que se tornou cúmplice na ultrapassagem de todos os desafios tecnológicos que foram surgindo. Por fim, ao Dr. João Alvelos, o ponto de contacto na AGFA Portugal que muito contribui para a aquisição de conhecimento sobre RIS, PACS e DICOM.

Por fim, quero agradecer aos meus familiares que, de uma forma ou outra, acreditaram e ajudaram a vencer mais um obstáculo. Um agradecimento especial ao meu filho, Luis Mineiro Jr. que nem sempre pode contar com a presença e atenção do pai, precisamente por me encontrar ocupado na investigação desta dissertação. O último agradecimento é dirigido à minha esposa, Olga Martins, que em altura nenhuma pôs em causa a minha capacidade de concluir esta etapa. Apoio constante e incansável a garantir os níveis de concentração e atenção neste

---

projecto.

A todos, o meu sincero obrigado, e bem hajam.

# Conteúdo

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xvii</b>
<b>Lista de Siglas e Abreviaturas</b>	<b>xix</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Conceitos introdutórios	1
1.2 Enquadramento	3
1.3 Motivação	5
1.4 Objectivos	7
1.5 Fases do processo de desenvolvimento	8
1.6 Estrutura do documento	9
<b>2 Ditado digital</b>	<b>11</b>
2.1 Introdução	11
2.2 Sistemas de reconhecimento de voz	12
2.2.1 Aumento de produtividade	14
2.2.2 Poupanças financeiras	15
2.3 <i>Workflow</i> de ditado com transcrição	15
2.4 Conclusões	17
<b>3 Integração de sistemas</b>	<b>19</b>
3.1 Integração semântica e ontologias	20
3.1.1 <i>Ontology Web Language for Services</i>	21
3.1.2 <i>Web Service Modelling Ontology</i>	23
3.1.3 Disponibilidade geral	24
3.2 <i>Enterprise Service Bus</i>	27
3.3 <i>Health Service Bus</i>	31
3.4 OpenEHR	33

3.5	<i>Fast Health Interoperable Resources</i>	35
3.6	Conclusões	37
<b>4</b>	<b>Integração HIS, RIS e PACS</b>	<b>39</b>
4.1	1ª geração de integração	41
4.2	2ª geração de integração	41
4.3	Conclusões	42
<b>5</b>	<b>Implementação</b>	<b>45</b>
5.1	Introdução	45
5.2	Protótipo	46
5.2.1	Serviços	47
5.2.2	<i>Radiology Service Bus</i>	48
5.2.3	API de comunicações	54
5.3	Cenário de integração	55
5.4	Prova de conceito	60
5.4.1	1º exemplo - admissão	60
5.4.2	2º exemplo - pesquisas FHIR	63
5.5	Conclusões	66
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>67</b>
6.1	Avaliação	68
6.2	Trabalho futuro	69
	<b>Bibliografia</b>	<b>71</b>

## Lista de Figuras

1.1	<i>Workflow</i> típico numa unidade de Imagiologia	2
1.2	Etapas do processo de desenvolvimento	8
3.1	Cenário típico da utilização da WSMO	24
3.2	Modelo de interação assíncrona de um ESB	27
3.3	Fila de mensagens	29
3.4	Ligações num modelo tradicional RPC	30
3.5	Ligações numa topologia <i>Hub-and-Spoke</i>	31
3.6	Modelação em múltiplos níveis criada pela OpenEHR (2002)	34
4.1	Modelo de integração RIS, PACS e instrumentos em Radiologia	40
5.1	<i>Endpoint</i> genérico do ESB	46
5.2	Componentes do protótipo do RSB	47
5.3	Arquitectura do Apache Camel (Ibsen & Anstey (2010))	52
5.4	Cenário de interligação e interoperabilidade do RSB	55
5.5	Tradução de mensagens HL7/FHIR (EIP: <i>Message Translator</i> )	55
5.6	Encaminhamento para WS da seguradora (EIP: <i>Remote Procedure Invocation</i> )	56
5.7	Distribuição de mensagem (EIP: <i>Recipient List</i> )	56
5.8	Distribuição de acordo com conteúdo (EIP: <i>Content Based Routing</i> )	57
5.9	Pedido e resposta síncrono (EIP: <i>Sync Request/Reply</i> )	57
5.10	Encaminhamento para SRV (EIP: <i>Message Router</i> )	58
5.11	Entrega garantida com documento numa mensagem (EIP: <i>Document Message</i> )	58
5.12	Envio assíncrono de notificação (EIP: <i>Async Request</i> )	59
5.13	Distribuição para múltiplos sistemas (EIP: <i>Splitter e Publisher-Subscribe</i> )	59



## Lista de Tabelas

1.1	Comparação das soluções de ditado digital	6
5.1	Rotas do RSB	60



---

# LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADL Archetype Definition Language (OpenEHR)

API Application Programming Interface

DAML-S DARPA agent markup language for services

EAI Enterprise Application Integration

EHR Electronic Health Records

EIP Enterprise Integration Pattern

ESB Enterprise Service Bus

FHIR Fast Health Interoperable Resources

HIS Hospital Information System

HL7 Health Level 7

HSB Health Service Bus

IHE Integrating the Health Care Enterprise

JB1 Java Business Integration

JDBC Java Database Connectivity

MOM Message-Oriented Middleware

MPPS DICOM Modality Performed Procedure Step

MWL DICOM Modality Worklist

OWL Ontology Web Language

OWL-S Ontology Web Language for Services

PACS Picture Archiving and Communication System

REST Representational State Transfer

RIS Radiology Information System

RPC Remote Procedure Call

RSB Radiology Service Bus

SDK Software Development Kit

SOA Service-oriented Architecture

SOAP Simple Object Access protocol

SRV Sistema de Reconhecimento de Voz

SWS Semantic Web Services

UDDI Universal Description, Discovery and Integration

USB Universal Serial Bus

UX User Experience

W3C World Wide Web Consortium

WSDL Web Services Description Language

WSMF Web Service Modeling Framework

WSMO Web Service Modeling Ontology

WSMT The Web Service Modeling Toolkit

WSMX Web Service Modelling eXecution environment



---

---

# CAPÍTULO 1

---

## INTRODUÇÃO

O sistema de informação tipicamente utilizado nas especialidades médicas de imagiologia é chamado de *Radiology Information System* (RIS). A adoção deste tipo de sistemas intensificou-se no início da década de noventa, principalmente devido às mudanças económicas sentidas na altura. Um dos principais catalizadores para essa adoção foi o aumento da competitividade na indústria dos cuidados de saúde. Estava em curso uma reforma nesta indústria e a disciplina da imagiologia não foi excepção.

Desde então, houve uma evolução considerável neste tipo de sistemas e foram também criados alguns *standards*. Os principais processos mantêm-se, no entanto, praticamente inalterados. Há algumas excepções dignas de registo, principalmente pela parte dos maiores fabricantes de referência - Siemens, AGFA, GE Healthcare, etc.

### 1.1 Conceitos introdutórios

As funcionalidades básicas de um RIS vão desde o nível administrativo até ao nível clínico, permitindo a comunicação com outros departamento para além do departamento de Radiologia.

Segundo a descrições de Fink et al. (1991), um RIS permite a gestão dos pedidos, agendamento de exames e publicação de relatórios de suporte ao diagnóstico de pacientes de radiologia.

Um pouco como acontece com outros sistemas de informação, nomeadamente muitos outros utilizados na indústria dos cuidados de saúde, um RIS também não funciona de forma totalmente autónoma. A comunicação com outros sistemas de informação, de acordo com Lenz & Kuhn (2004), é um requisito fundamental para a prestação dos cuidados de saúde. Um desses sistemas, talvez aquele com maior relevância, é o *Picture Archiving and Communication System* (PACS), tal como indicado por Pavlopoulos & Delopoulos (1999). O PACS serve, tal como o próprio nome sugere, para o arquivo das imagens médicas. É através da observação dessas imagens que os médicos radiologistas produzem os seus relatórios.

Os médicos que interagem com os sistemas RIS têm acesso a uma lista de trabalho onde consta informação sobre todos os exames e respectivos pacientes que aguardam diagnóstico. Através da visualização das imagens médicas os médicos relatam as suas conclusões, que passarão a fazer parte do histórico clínico do paciente. Os relatos, neste contexto, consistem tipicamente em ditados para um qualquer sistema de gravação digital, que são posteriormente enviados ao departamento de dactilografia. Os dactilógrafos transcrevem os ditados em processadores de texto criando documentos que, antes de poderem ser entregues aos respectivos pacientes, têm de ser validados e assinados pelos médicos que os produziram.



Figura 1.1: *Workflow* típico numa unidade de Imagiologia

De uma forma muito resumida este workflow pode ser descrito pelo diagrama da figura 1.1. É um cenário coincidente com os cenários observados e descritos

por Wong et al. (2003) após análises detalhadas da rotina do dia a dia num departamento de radiologia.

Os clínicos que acompanham os pacientes, munidos dos relatórios dos diversos tipos de exames, podem, por fim, estabelecer um programa de tratamento e eventual cura.

## 1.2 Enquadramento

Durante aproximadamente dois anos, houve uma colaboração profissional com um grupo empresarial da área da saúde. Durante esse período foi possível acompanhar de perto as suas operações e identificaram-se com algum rigor todos os processos e também a diversidade de sistemas de informação existentes.

Como resultado dessa experiência constataram-se algumas lacunas na integração entre os diferentes sistemas de informação, em particular, os sistemas RIS e o sistema de ditado.

Foi nessa base que assentou a investigação desta dissertação - nas operações do departamento de Imagiologia do Grupo BASE, os sistemas RIS e os seus métodos de relato de transcrição de relatórios apoiados em ditado digital.

Na divisão de Imagiologia do Grupo BASE, um pouco como acontece noutras organizações que operam na mesma área, é utilizado um sistema RIS e também são utilizados equipamentos de ditado digital. O sistema RIS oferece as funcionalidades típicas já referidas e os equipamentos de ditado digital são de diversos fabricantes e com diferentes modos de funcionamento. Os mais comuns consistem em gravadores digitais portáteis (*Pocket Memo*) cujos ditados são armazenados em ficheiros individuais num cartão de memória.

Estes gravadores são frequentemente transportados por assistentes entre as salas médicas e o departamento de dactilografia para que seja possível efectuar a descarga dos ficheiros dos ditados. Após a descarga, é necessário associar cada um dos ficheiros ao respectivo registo de cada paciente. Isto obriga não só os médicos a incluírem no seu ditado detalhes que permitam identificar o exame e o paciente, como também obriga o dactilógrafo, que efectua a associação, a prestar atenção redobrada, na primeira parte do ditado, para que consiga efectuar a associação sem falhas. Além da ineficiência óbvia de todo este processo, identificou-se uma

grande exposição ao risco de erro na associação.

Na organização colaboram, em regime de prestação de serviços, aproximadamente, uma centena de médicos radiologistas. É relevante sublinhar que esses médicos não são colaboradores exclusivos das unidades do Grupo BASE e, tal como a generalidade dos médicos radiologistas, prestam serviços em várias organizações públicas e privadas. É muito comum utilizarem diferentes sistemas nessas organizações. Foram, inclusivamente, os vários diálogos com esses médicos que foram permitindo apurar com rigor, as diferentes formas de operar em todos os sistemas a que têm acesso.

### **Relato e transcrição de relatórios**

Nem sempre se procedeu ao relato para gravadores digitais. A tecnologia que precedeu este avanço era bastante mais elementar e baseava-se em gravadores com micro-cassetes de banda magnética. A migração dos sistemas para o ditado digital veio permitir a associação dos ditados aos respectivos registos informáticos.

Esta desmaterialização não só resultou num uso mais eficiente de recursos técnicos, como também no armazenamento histórico dos ditados. Esta questão do histórico tem elevada importância na prestação de cuidados de saúde. Sempre que surja a necessidade de comprovar diagnósticos, existindo eventuais situações de desacordo, é muito vulgar recorrer-se à audição de ditados anteriores.

Todas estas razões tornaram, rapidamente, o ditado digital como a solução de facto, tornando completamente obsoletas as anteriores, como por ex., as micro-cassetes.

No que diz respeito ao ditado digital, não existe ainda um procedimento que se tenham tornado, manifestamente, o standard.

Uma das formas consiste em utilizar equipamentos totalmente autónomos, sem qualquer integração com os sistemas de informação. São altamente portáteis e é, ainda hoje, o método que recolhe maior simpatia por parte dos médicos radiologistas. É muito comum encontrar os médicos a circular nas áreas técnicas das unidades de imagiologia enquanto ditam os seus diagnósticos.

Uma outra alternativa é a utilização de equipamentos que podem ser integrados nos sistemas RIS através de *Software Development Kits* (SDK) fornecidos

pelos fabricantes dos gravadores. Estes equipamentos já permitem que o médico selecione na sua lista de trabalho o exame que pretende relatar e, de uma forma transparente, armazenar imediatamente o ditado no respectivo registo informático. Isto é possível, porque cada equipamento está ligado directamente à estação de trabalho onde se encontra instalado um terminal de acesso ao RIS, quer por interfaces *Universal Serial Bus* (USB) ou por *Bluetooth*.

Esta associação directa do ditado ao exame respectivo elimina a necessidade do transporte dos equipamentos entre as salas médicas e os departamentos de dactilografia. Esta alternativa, apesar de apresentar um evidente aumento de eficiência no processo, quase que anula a mobilidade que os clínicos tanto apreciam e que os faz preferir os modelos sem integração.

Por fim, existe também a alternativa dos sistemas de reconhecimento de voz que deveriam proporcionar, de uma forma ideal, a total eliminação do passo de dactilografia. Como será abordado mais à frente neste documento, nem sempre é possível verificar esta realidade.

## 1.3 Motivação

Na génese deste trabalho esteve a procura por uma solução de integração que permitisse a interoperabilidade entre os diversos sistemas. Não foi possível identificar qualquer solução que permitisse a integração de múltiplos sistemas RIS, múltiplos sistemas PACS e, adicionalmente, qualquer uma das soluções de ditado digital, por mais modernas que elas fossem.

A investigação a levar a cabo exigiu a avaliação das soluções disponíveis e do seu modo de funcionamento. Também foi relevante fazer o levantamento da eventual investigação em todas as áreas abrangidas. Durante este percurso tentou-se, também, identificar as eventuais razões que justificassem a dificuldade em encontrar soluções de integração que, mesmo não sendo específicas para os propósitos enunciados, poderiam responder aos requisitos.

Aquilo que tinha já sido apurado pela experiência obtida no decurso do período de colaboração com o Grupo BASE foram os seguintes pontos:

- Organizações estruturadas em múltiplas unidades geograficamente separadas;

- Diversidade de sistemas RIS e PACS;
- Adopção de múltiplos standards de comunicação;
- Solução de ditado digital pouco eficiente.

O último ponto destacou-se por ter já havido no Grupo BASE uma avaliação de soluções de reconhecimento de voz. Os resultados então observados não foram satisfatórios, de forma algo coincidente com os resultados de Al-Aynati & Chorneyko (2003); Liu et al. (2006). Além disso, tendo em conta as previstas quebras operacionais e os custos inicialmente previstos, não foi considerada viável a sua adopção. Não obstante, no âmbito desta investigação, procedeu-se a um estudo mais exaustivo do estado da arte destes sistemas, detalhado no capítulo 2.

Ainda relativamente às soluções de ditado digital, foi necessário efectuar um levantamento das características de cada uma delas para se poder formular algum tipo de comparação. A tabela 1.1 descreve, de uma forma muito simplificada, as vantagens e desvantagens de cada uma das soluções de ditado digital anteriormente referidas.

Tabela 1.1: Comparação das soluções de ditado digital

Solução	Mobilidade	Falhas de associação	Eficiência operacional
Sem integração	Elevada	Elevada	Reduzida
Com integração	Reduzida	Reduzida	Elevada

Idealmente, qualquer que fosse a solução de ditado digital, seria importante continuar a garantir a mobilidade. A observação da tabela anterior evidencia que, com as soluções actuais, essa garantia é a razão principal para a baixa eficiência operacional. Seria, portanto, importante conseguir obter melhorias de eficiência operacional e reduzir ou eliminar totalmente o erro de associação dos ditados aos exames.

A solução ideal passará pela utilização de dispositivos móveis, vulgus *Smartphones*, onde se percebe existir margem de manobra para criar uma solução mais abrangente. A adopção deste tipo de equipamentos poderá facilmente abrir novos horizontes no que diz respeito à integração com os restantes sistemas.

O mecanismo de integração é o maior desafio e um componente central que habilita a interoperabilidade entre todos os sistemas.

## 1.4 Objectivos

Os desafios identificados anteriormente permitiram antecipar vários objectivos que seriam, à partida, muito difíceis de concretizar no âmbito deste projecto. Ainda assim, foi necessário identificar esses objectivos de uma forma clara para poder nortear a investigação.

A única forma de entender devidamente os sistemas e as diversas tecnologias envolvidas na indústria seria proceder a um levantamento do estado da arte dessas matérias. O tema do ditado digital foi considerado bastante relevante. Particularmente, importava perceber o estado actual da investigação na área do reconhecimento de voz e comparar essas conclusões com as que haviam sido apuradas na avaliação anterior no Grupo BASE. Só com este estudo seria possível determinar qual das soluções de voz seria considerada, actualmente, a solução de facto na indústria.

Igualmente importante é o tópico da integração. Trata-se de um tema muito vasto mas, por outro lado, bastante abordado desde há muito tempo pela comunidade científica. Há sensivelmente uma década que o tópico das ontologias e da semântica tem sido bastante estudado, existindo muito boas referências de Berners-Lee et al. (2001); Choi (2007); Fensel (2003); Noy (2004); Voll et al. (2007). Os resultados desta investigação foram considerados determinantes para poder decidir-se pela tecnologia de integração mais adequada.

Todo o resultado da investigação anteriormente referida permitiu a definição de uma arquitectura de um sistema de integração adequado para a indústria da imagiologia. O sistema consiste de um *Middleware* de integração permitindo a interoperabilidade entre os diversos RIS, PACS e a solução de ditado digital. Para esse efeito pretende-se desenvolver uma *Application Programming Interface* (API) que implementa os protocolos de comunicações considerados *standard* nesta área.

Como referido, o componente central do projecto será um *middleware* que permita a comunicação entre os diversos RIS actualmente em uso no Grupo BASE. A maior diferença para as soluções actuais que foram encontradas será a sua capacidade de permitir a interoperabilidade com quaisquer outros sistemas RIS através dos protocolos implementados. Esta camada intermédia permitirá agrupar num só sistema o acesso aos dados produzidos pelos diversos sistemas que os médicos radiologistas têm acesso. Este modelo pretende, acima de tudo,

garantir-lhes a mobilidade anteriormente referida. Estudos de Leape (1994); Reason (1990) demonstraram que o acesso limitado à informação clínica de pacientes, nos momentos de tomada de decisão, é uma das principais causas de erro médico, assim, a colocação deste *middleware* na *Cloud* garantiria o acesso à informação dos sistemas de saúde em qualquer parte, e a qualquer hora.

Este componente será conhecido como *Radiology Service Bus* (RSB). Tal como o próprio nome indica, trata-se de uma especialização de um *Enterprise Service Bus* (ESB). Além das características típicas de um ESB, descritas no capítulo 3, acrescenta interoperabilidade semântica.

### ***Application Programming Interface***

A arquitectura proposta para o RSB deverá habilitar a comunicação com os diversos sistemas através de uma API baseada em *Representational State Transfer* (REST) *Web Services* que permite não só uma redução considerável do tráfego entre os sistemas e o *middleware*, como também exige menor capacidade de processamento no sistema em que reside o *middleware*, tal como concluíram Rodrigues et al. (2011).

É neste âmbito que se torna importante avaliar a questão das ontologias e semântica. É importante identificar quais os *standards* da indústria e avaliar como se pode tirar partido da semântica e das ontologias para unificar o processo de comunicação.

## **1.5 Fases do processo de desenvolvimento**

Por forma a atingir os objectivos estabelecidos, considerou-se muito importante definir um *workflow* que pudesse orientar as etapas de todo o processo. Tendo sido já identificadas algumas tarefas, foram estabelecidas três (3) etapas principais, onde se incluíram as referidas tarefas.

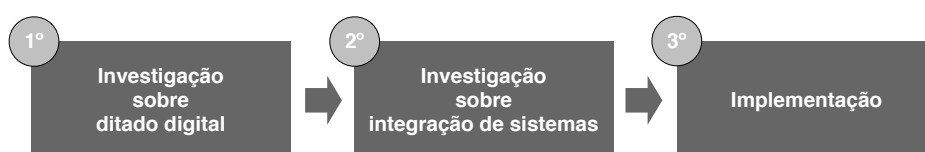


Figura 1.2: Etapas do processo de desenvolvimento

A primeira etapa consiste na investigação sobre o estado da arte no domínio do ditado digital. A importância do tema centra-se, principalmente, nas actuais soluções ao dispor das organizações - sistemas de reconhecimento de voz versus o ditado com transcrição.

A etapa de investigação sobre integração de sistemas consiste em reunir informação sobre a evolução dos sistemas de integração. É feito um levantamento do estado da arte e uma pesquisa sobre soluções específicas no domínio da saúde, ou mesmo na área da Radiologia.

A terceira e última fase depende das conclusões obtidas das etapas anteriores. Estas conclusões são determinantes para as decisões a tomar na definição da arquitectura do modelo de integração bem como o seu âmbito.

### ***Prova de conceito***

Pretende-se construir um protótipo de um *middleware* de integração orientado para a especialidade de Radiologia.

Para validar os conceitos e a arquitectura do RSB será criada uma prova de conceito que permite simular a integração entre sistemas heterogéneos. Esta prova de conceito servirá para demonstrar os diversos níveis de interoperabilidade, descritos na secção 3.3.

## **1.6 Estrutura do documento**

Este documento é composto por seis (6) capítulos, em que se inclui esta introdução.

No segundo (2<sup>o</sup>) capítulo é efectuado um levantamento do estado da arte do ditado digital, em particular, o reconhecimento de voz. São também efectuadas algumas comparações com o método de ditado com transcrição e tecidas algumas conclusões.

No terceiro (3<sup>o</sup>) capítulo, um pouco como no anterior, também é efectuado um levantamento do estado da arte sobre toda a temática da integração, abordando as ontologias e semântica. Também é efectuada uma análise ao *Enterprise*

*Service Bus* (ESB) e às tecnologias que constituem os seus alicerces - *Service-oriented Architecture* (SOA) e *Message-Oriented Middleware* (MOM). Por fim, ainda nesse mesmo capítulo, é explorada uma especialização do ESB específica para a área da saúde - o *Health Service Bus* (HSB). Complementa-se ainda a secção com uma breve abordagem à norma *Fast Health Interoperable Resources*<sup>1</sup> (FHIR®) e ao *OpenEHR*<sup>2</sup>.

O quarto (4<sup>o</sup>) capítulo reservou-se para o estudo da evolução dos mecanismos de integração para os *Hospital Information Systems* (HIS), RIS e PACS.

O quinto (5<sup>o</sup>) capítulo é dedicado exclusivamente à implementação dos componentes referidos anteriormente - o RSB, a API de comunicações e a prova de conceito.

O sexto (6<sup>o</sup>) e último capítulo contém as conclusões a que se chegou, uma breve avaliação das dificuldades encontradas e a identificação de eventuais passos para a continuação desta investigação.

---

<sup>1</sup><http://www.hl7.org/implement/standards/fhir/>

<sup>2</sup><http://www.openehr.org/home>

---

---

# CAPÍTULO 2

---

## DITADO DIGITAL

Os problemas identificados nas actuais soluções de ditado digital foram descritos no capítulo anterior e, alguns deles, sintetizados na tabela 1.1. Existem alguns estudos sobre os problemas da ineficiência do processo de ditado digital. No Grupo BASE também se procedeu à avaliação de algumas soluções de reconhecimento de voz. Infelizmente, o relatório dessa avaliação pode apenas ser referenciado, uma vez que não se encontra acessível ao público geral.

O que se pretende ao longo deste capítulo é fazer o levantamento da evolução dos sistemas de reconhecimento de voz (SRV) e das suas principais características permitindo depois estabelecer o paralelo com a experiência recolhida nas diversas unidades do Grupo BASE onde se proceder ao ditado com transcrição como forma de produzir relatórios.

### **2.1 Introdução**

Como referido, pretende-se efectuar o paralelo entre os SRV e o ditado com transcrição como formas de produzir relatórios de radiologia. Esta comparação é fundamental para se poder determinar qual dos métodos se considera o mais adequado tendo em conta os diversos factores - o custo, a eficiência e a qualidade

dos relatórios.

Em função desta selecção do método mais adequado terão de ser tomados diferentes caminhos no que toca à integração dos ditados digitais. Enquanto que os SRV deverão produzir directamente relatórios em formatos prontos para publicação, tornando quase irrelevante os ficheiros de relato em si, o método mais clássico com transcrição requer todo um *workflow* anterior de gestão dos ficheiros de relato para que seja possível chegar ao mesmo relatório.

Em suma, trata-se de apurar se a integração deve aceitar os relatórios produzidos pelos SRV ou se os ficheiros de relatos para posterior encaminhamento para os departamentos de dactilografia.

## 2.2 Sistemas de reconhecimento de voz

Os SRV surgiram há algum tempo e evoluíram bastante, como descreveram extensivamente Juang & Rabiner (2005). Essa evolução partiu de sistemas capazes de reconhecer apenas algumas sílabas até aquele que é talvez o mais famoso sistema de reconhecimento de voz, o assistente pessoal Siri<sup>1</sup> disponível nos dispositivos mais recentes da Apple.

Langer (2002) descreveu os problemas dos primeiros SRV que implementavam algoritmos de reconhecimento discreto que exigia ao locutor uma pausa forçada entre cada palavra ao longo de todo o seu ditado. Esse padrão de ditado era pouco natural e insustentável por longos períodos. Definiu-os como lentos, dependentes do locutor e altamente sensíveis a ruído de fundo.

Os SRV mais modernos, por outro lado, adaptam-se melhor ao discurso natural, que ocorre de uma forma fluída. Estes SRV surgiram no final da década de 90, como referido por Juang & Rabiner (2005), e permitem ao utilizador falar a um ritmo normal e de uma forma natural. Novos e mais complexos algoritmos recebem a entrada de som dos microfones, detectam padrões de som discretos (fonemas) e recorrem a uma variedade de algoritmos para escolher os padrões de texto mais prováveis que correspondem a uma sequência de sons. Estes padrões encontram-se, normalmente, no dicionário desses SRV.

Sobre esses SRV mais modernos, Zafar et al. (1999) torna evidente a im-

---

<sup>1</sup>Assistente pessoal para iOS - <http://www.apple.com/ios/siri/>

portância dos dicionários, da quantidade de sons distintos reconhecidos e da necessidade de enriquecer esses dicionários através de sessões de treino dos SRV. White (2005) acrescenta que essas sessões de treino deverão ser individuais de forma a que os sistemas criem perfis de voz para cada locutor dadas as divergências entre os estilos de discurso habitualmente verificados. Estes, por seu lado, deverão evitar o uso de vocabulário fora do âmbito da radiologia, contribuindo para a performance global do SRV. Mohr (2002) viu-se obrigado, inclusivamente, a excluir os documentos, de um patologista em particular, do seu ensaio que, devido ao estilo de discurso, apresentava resultados altamente ineficientes.

As taxas de erro dos sistemas de reconhecimento de voz podem ser facilmente mal interpretadas. Por exemplo, se o sistema apresentar uma taxa de exactidão de 95% isto não quer dizer que 95% dos relatórios são produzidos sem erros. Quer dizer, sim, que 95 em cada 100 palavras seriam reconhecidas correctamente. Consequentemente, se um relatório tiver, em média, 100 palavras, existirão 5 erros em cada relatório.

Voll et al. (2007) sugere um método distinto para “aceitar” as falhas dos SRV mas ajudar a melhor identificá-los. Mesmo a meta de 99% de exactidão é difícil de atingir e, tal como referido, ainda representaria 1 erro em cada 100 palavras, sem qualquer garantia da gravidade desse erro. A proposta apresentada consiste em classificar o texto, recorrendo a heurísticas de contexto e probabilidade estatística, sugerindo no documento resultante do SRV onde poderão estar os potenciais erros. Obtiveram indicadores que demonstravam uma forte ligação contextual e de estilo entre os parágrafos do relatório que podia ser, no entanto, bastante distante dos parágrafos do histórico. A título de exemplo, o método sugerido deveria conseguir contextualizar palavras dum relatório de um joelho e inferir daí a baixa probabilidade das mesmas serem encontradas num relatório de um ombro. Demonstraram ainda que, um pouco relacionado com o problema das *stopwords*, é a perda de pequenos termos de um discurso com alto significado semântico. Por exemplo, a omissão da palavra “não” pode ter sérias consequências na interpretação de um relatório.

Kanal et al. (2000, 2001) encontrou evidência de que os erros encontrados nos *drafts* dos relatórios não se tratam de erros de sintaxe mas sim palavras sem qualquer qualquer coerência ou relação com o tema. Embora sendo triviais, caso não sejam detectados e corrigidos esse erros dos relatórios, podem induzir em erro ou conter conteúdo anedótico ou obsceno.

Os estudos sobre os SRV incidem, habitualmente, sobre ensaios efectuados

na língua inglesa. Os estudos de anteriores evidenciaram estatísticas inferiores no reconhecimento de voz quando a língua nativa do locutor não é inglês. Isto justifica também alguns dos resultados observados nas unidades de saúde do Grupo BASE onde foram efectuados ensaios com SRV onde todos os relatórios eram produzidos em língua portuguesa.

Voll et al. (2007) afirma mesmo que as organizações que adoptam os SRV tendo como objectivo a dispensa dos dactilógrafos acabam por ver-se forçadas a manter os mesmos como “correctores” ou “revisores”. Não só lhes causa frustração como é uma fraca utilização dos recursos. Talvez por isso, um dos métodos mais populares de adopção dos SRV é, tal como nos estudos de Voll et al. (2007) e Mohr (2002), através de ditado digital com envio para um motor de reconhecimento de voz. O documento resultante do reconhecimento é depois enviado para o departamento de dactilografia que procede à revisão e ao fecho do relatório deixando-o pronto para difusão.

A alternativa a este procedimento transfere integralmente a função de revisão e correção para os patologistas permitindo-lhes ver o resultado do reconhecimento em tempo real. Siström (2005) defende, no entanto, que a grande parte dos patologistas aprende a utilizar os SRV de uma forma contra-produtiva na medida em que ditam e corrigem um relatório de cada vez em vez de procederem aos ditados de forma fluída deixando para mais tarde a sua revisão e correção em lote. Para piorar mais a situação, descreve ainda que os patologistas apresentam uma certa obsessão em confirmar constantemente se o SRV reconheceu correctamente as palavras mais recentes antes de prosseguirem, o que resulta em quebras de produtividade consideráveis.

### 2.2.1 Aumento de produtividade

Os estudos mais recentes convergem todos para conclusões bastante semelhantes. Ramaswamy et al. (2000), Hayt & Alexander (2001) e Mehta & McLoud (2003) concluem que é despendido mais tempo a rever relatórios produzidos pelo sistema de reconhecimento de voz. Desses estudos, as metodologias mais comuns encontradas foram a utilização do sistema com produção de relatório directamente para difusão e a utilização do sistema para produzir um *draft* do relatório que é depois verificado por um dactilógrafo. No estudo de Mohr (2002) foram obtidos resultados alarmantes com recurso ao sistema de reconhecimento. O nível de produtividade situou-se entre 87.3% a 55.8% face ao método convencional sem

o sistema de reconhecimento de voz. Explica, no entanto, que esta variação se deveu a diversos factores para além da tecnologia em si. Foram factores relevantes, por exemplo, o par locutor e dactilógrafo, evidenciando que a familiarização de certos dactilógrafos com o estilo de ditado de certos locutores pode fazer uma grande diferença.

### 2.2.2 Poupanças financeiras

White (2005) afirma que sem a revisão de um dactilógrafo não existe outra forma que não ao próprio patologista fazer a revisão dos seus relatórios. Este facto, só por si, enfraquece um dos objectivos da implementação dos sistemas de reconhecimento de voz que é a poupança financeira. Efectivamente, é contra-producente substituir um dactilógrafo com um salário baixo por um patologista mais bem pago. Hayt & Alexander (2001) adiantam que as organizações que adoptaram sistemas de reconhecimento de voz reportam frequentemente um aumento dos erros nos relatórios quando os patologistas fazem a revisão dos seus próprios relatórios. Um estudo mais recente de Basma et al. (2011) refere ainda que os relatórios gerados pelo SRV apresentavam uma probabilidade de ser produzidos com erros 8 vezes maior do que o método tradicional, apoiado por dactilógrafos ( $p < 0.01$ ). Isto mesmo após múltiplos ajustamentos ao sistema de forma a melhor adequá-lo às capacidades e formação de cada utilizador, depois de serem feitos ajustes necessários para utilizadores cuja língua nativa não era inglês e todas as configurações para melhor distinguir as diferentes modalidades de radiologia.

## 2.3 *Workflow* de ditado com transcrição

Os equipamentos mais vulgares para ditado digital são habitualmente apelidados de “ditafones”. São equipamentos considerados fáceis de manusear e a comunidade médica tem bastante experiência com os mesmos. Os modelos sem qualquer integração registam os ditados numa memória interna que podem posteriormente ser descarregados para um sistema central acessível ao departamento de dactilografia. Os equipamentos que permitem a integração com os sistemas de informação são os que oferecem menores taxas de erro na associação dos ditados aos exames dos pacientes.

Os principais fabricantes destes tipos de equipamentos, com ou sem integra-

ção, são a Philips<sup>2</sup>, Olympus<sup>2</sup> e Sony<sup>2</sup>. Estes fabricantes, na realidade, também oferecem produtos de reconhecimento de voz.

Além destas soluções que se baseiam em equipamentos dedicados para o propósito, começaram a surgir nos últimos anos produtos de *software* que podem ser instalados em *Smartphones* cujo leque de funcionalidades pode ser comparável com as dos “ditafones”. Fez-se um levantamento de algumas dessas aplicações para *Smartphones* e procedeu-se à avaliação das suas funcionalidades.

A oferta da G2Speech, chamada “i2Report”<sup>2</sup>, consegue devolver a mobilidade aos médicos já que se trata de uma aplicação para dispositivos iOS e consegue transmitir os ditados através da rede de comunicações sem fios providenciada pelos equipamentos. De acordo com as especificações anunciadas pela G2Speech, o produto permite o envio dos ditados directamente para departamento de dactilografia. O que isto quer dizer é que ainda será da responsabilidade dos dactilógrafos a associação dos ditados aos respectivos exames. Como havia sido identificado anteriormente, este modelo deixa ainda alguma exposição ao risco das falhas de associação.

Um outro produto bastante semelhante nas suas funcionalidades é o “Pocket Dictate”<sup>2</sup> da NCH Software que também permite o envio automático para o departamento de dactilografia mas apresenta a mesma exposição ao risco de falha de associação dos ditados.

Um dos últimos produtos a merecer alguma investigação foi o “Digital Dictation for iPhone”<sup>2</sup> da Winscribe. Além das funcionalidades que os outros dois sistemas providenciavam, oferece ainda mecanismos para integrar automaticamente com bases de dados externas ou sistemas como o RIS ou PACS. Estas funcionalidades já permitiriam obter a lista de trabalho do próprio médico e associar automaticamente o ditado aos respectivos paciente. Não foi possível apurar, no entanto, sob que *standards* estavam implementados nesses mecanismos de integração. Foi possível apenas identificar um mecanismo de sincronização baseado em ficheiros de texto com um formato proprietário que teria de ser submetido a engenharia reversa para poder torná-lo útil fora do contexto dos produtos da Winscribe.

---

<sup>2</sup>Sistema/Produto descrito em (referência bibliográfica)

## 2.4 Conclusões

De uma forma resumida, não se verificam ainda benefícios evidentes para a adopção de sistemas de reconhecimento de voz em processos clínicos. É possível encontrar alguns casos em que se verificam pequenos aumentos de produtividade, ainda que marginais, mas cujas condições não podem ser reunidas facilmente.

A elevada taxa de erros é, além do trabalho acrescido dos patologistas, o maior impedimento para a sua adopção em grande escala nas organizações de radiologia, ainda que, à partida, possa significar poupanças financeiras substanciais com a dispensa de dactilógrafos.

No Grupo BASE verificaram-se as mesmas conclusões que nos estudos citados, tendo-se observado a transferência do serviço de dactilografia para os patologistas. Os custos resultantes da quebra de produtividade dos patologistas anularam as eventuais poupanças com a dispensa dos dactilógrafos e, embora sem valores que pudessem ser partilhados publicamente, chegou a verificar-se mesmo uma ligeira quebra de receita durante o período do estudo.

Um patologista participante de um fórum onde também foi efectuada alguma da investigação desta dissertação afirmava categoricamente que “não há nenhuma outra tecnologia ou procedimento que se considere aceitável implementar quando ela apresenta um aumento da taxa de erros de 8 vezes. Ninguém escolheria um automóvel cuja probabilidade de ter um acidente é 8 vezes maior”. Concluiu dizendo que “produzir relatórios de radiologia de forma mais rápida, só para ser mais rápido, não é medicina”.

Perante estes resultados, no Grupo BASE, e no âmbito desta dissertação, optou-se pela solução mais tradicional de ditado digital com recurso a dactilógrafos.

A solução de integração a implementar deve, por isso, aceitar os ficheiros de relato.



---

---

## CAPÍTULO 3

---

# INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS

A integração de sistemas é um problema que já foi abordado de diferentes formas tais como *middlewares* assíncronos, aplicações específicas de *Enterprise Application Integration* (EAI), entre outros. Segundo Mahmoud (2004, 2013), a necessidade da integração de sistemas não é um problema transitório que tem de ser resolvido apenas por agora. É um requisito que todas as organizações deverão satisfazer no futuro.

Uma arquitectura orientada a serviços (SOA) é a abordagem mais comum para integrar diferentes aplicações, principalmente, porque providencia os níveis de abstracção e escalabilidade necessários. No entanto, este tipo de orientação aos serviços é muito dependente de tecnologias específicas. Segundo Herauld et al. (2005), a maior parte das plataformas focam-se principalmente no aspecto tecnológico da forma como publicar e disponibilizar os serviços, por ex., *Simple Object Access Protocol* (SOAP), *Web Services Description Language* (WSDL), *Universal Description, Discovery and Integration* (UDDI), etc.

Diferentes serviços podem manipular dados semanticamente semelhantes utilizando formatos bastante distintos. O problema dos dados e da heterogeneidade destes interfaces não foi ainda resolvido pelos sistemas de integração e, ainda de acordo com Herauld et al. (2005), é deixado para os programadores das próprias aplicações resolverem.

Os esforços de integração concentram-se, essencialmente, na conectividade ao nível físico e sintáctico. Tem havido alguns avanços e existem hoje em dia muitas ferramentas e soluções que auxiliam nesta área de integração de sistemas. Segundo Uschold & Gruninger (2004), apenas conectividade física e sintáctica não é, reconhecidamente, suficiente.

A integração semântica é uma área bastante activa de investigação em várias disciplinas, tais como bases de dados, integração de sistemas e ontologias. Têm surgido, fruto de investigação mais recente, alguns sistemas que se concentram mais nesta questão da semântica. Como aponta Noy (2004), muitos investigadores na área das bases de dados e integração de sistemas fizeram vários avanços no sentido de eliminar as dificuldades anteriormente referidas. A investigação na área das ontologias é uma das disciplinas que lida com a heterogeneidade de dados estruturados.

É sobre estes dois temas que a seguir se debruça este capítulo, antes de partir para alguns casos concretos de integração de sistemas.

### 3.1 Integração semântica e ontologias

A forma mais conhecida de disponibilizar funcionalidade numa SOA são os *Web Services*. A maior vantagem que os *Web Services* proporcionam é a independência física entre os diferentes sistemas, no entanto, são ainda extremamente focados na conectividade física e não lidam com a semântica dos dados que são transmitidos.

A tecnologia de *Web Services*, que é vulgarmente adoptada, assume que todos os sistemas são semanticamente homogêneos, ou seja, que todos eles usam o mesmo vocabulário. Foi já reconhecido por diversos autores, como Brodie (2003); Pollock (2002), que enquanto não se lidar com a heterogeneidade semântica uma integração entre sistemas, simples, automática e transparente não será possível. Ao passo que a interoperabilidade é a principal motivação para os *Web Services*, a automação da informação e a interoperabilidade dinâmica (através de mecanismos de descoberta) são os objectivos principais dos *Semantic Web Services* (SWS).

Na base dos *Semantic Web Services* estão as ontologias. Embora se encontrem várias definições do que é uma ontologia, aquela dada por Gruber (1993) é talvez a que reúne mais consenso e define-as como uma especificação explícita

de uma conceptualização. Já Borst (1997) define ontologias como sendo uma especificação formal de uma conceptualização compartilhada. Formal porque uma ontologia deve ser interpretável por uma máquina e compartilhada porque a ontologia deve reflectir o conhecimento consensual, aceite por um grupo. Pode-se dizer que um dos objectivos da utilização de ontologias é a eliminação do problema da heterogeneidade.

Enquanto que os *Web Services* tradicionais estabelecem apenas um protocolo da sintaxe os SWS definem o significado semântico das mensagens. Por exemplo, a linguagem WSDL pode definir que operações estão disponíveis através de um determinado serviço e a estrutura exacta dos dados que deverão ser transmitidos mas não é possível definir o significado semântico dos dados ou quais as eventuais restrições. Isto exige que os programadores estabeleçam previamente um acordo sobre esse protocolo e torna a descoberta automática de serviços impossível.

Para enriquecer a tecnologia dos *Web Services* tradicionais com conteúdo semântico foram desenvolvidas algumas linguagens e *frameworks*. Não sendo possível abordar exaustivamente todas elas, nem todo o seu âmbito, identificaram-se as iniciativas que se consideram mais avançadas nesta área.

#### 3.1.1 *Ontology Web Language for Services*

Esta iniciativa, normalmente conhecida por OWL-S (anteriormente conhecida como *DARPA agent markup language for services* - DAML-S), consiste numa ontologia para *Web Services* baseada na *Ontology Web Language* (OWL). É desde o ano de 2004 uma recomendação do *World Wide Web Consortium* (W3C) para as tecnologias da Web Semântica.

A OWL-S disponibiliza aos fornecedores de *Web Services* uma linguagem que permite descrever as propriedades e capacidades dos seus serviços de uma forma distinta e interpretável por computadores. Os *Web Services* enriquecidos com a OWL-S tornam possíveis algumas tarefas já identificadas como objectivos primários dos SWS.

A **descoberta automática** é um processo que descobre a localização de *Web Services* que podem providenciar uma determinada classe de capacidades de serviço ao mesmo tempo que respeita as eventuais restrições impostas pelo cliente. Por exemplo, um utilizador pode pretender um serviço que vende bilhetes

de avião entre duas cidades específicas e aceita um determinado tipo de meio de pagamento. Hoje em dia, esta tarefa é totalmente manual. Usa-se, por exemplo, um motor de pesquisa para encontrar fornecedores de vendas de bilhetes de avião e acede-se cada um deles para confirmar quais respondem às restrições. Com a OWL-S podia definir-se a informação necessária para a descoberta dos *Web Services* de uma forma interpretável por uma máquina e através de um registo global de serviços seria possível descobrir automaticamente esses serviços.

A **invocação automática** consiste na invocação automática de um *Web Service* por um programa de computador ou agente utilizando para o efeito apenas uma declaração descritiva do serviço pretendido ao contrário do cenário em que o agente foi previamente programado para invocar um serviço particular. Isto é necessário para, por exemplo, solicitar a compra de um bilhete de avião num determinado voo através de um *website* encontrado através de uma pesquisa. A execução deste *Web Service* pode ser encarada como um conjunto de *Remote Procedure Calls* (RPC). A OWL-S providencia uma API declarativa, interpretável por máquinas que inclui a semântica dos argumentos dessas chamadas e a semântica das mensagens de retorno quando os serviços são executados com sucesso ou falham. Um programa deve conseguir interpretar estas definições para perceber que argumentos são necessários para invocar o serviço e que tipo de resposta pode ser devolvida.

A **composição e interoperabilidade automática** é uma tarefa que envolve a selecção, composição e interoperabilidade automática de *Web Services* para executar uma tarefa complexa recebendo somente uma descrição de alto nível do objectivo a atingir. Por exemplo, um utilizador pode pretender efectuar todas as reservas para participar numa conferência. Em vez de localizar individualmente os *Web Services* para os bilhetes de avião e reservas em hotéis e criar um mecanismo para submeter as mesmas restrições a todos eles é possível apenas invocar um *Web Service* composto que descobre ele próprio que outros *Web Services* são necessários e que cumprem as restrições.

Martin et al. (2007) descrevem com grande detalhe todos os aspectos aqui descritos e as suas publicações têm sido fundamentais para a adopção da OWL-S pela indústria. O facto de ser uma recomendação da W3C é um claro sinal da estabilidade e robustez desta linguagem, que não é, no entanto, a única a partilhar os mesmos objectivos.

### 3.1.2 *Web Service Modelling Ontology*

A *Web Service Modeling Ontology* (WSMO) tem como objectivo principal a automatização (total ou parcial) das tarefas relacionadas com os *Web Services* - descoberta, selecção, composição, mediação, execução e monitorização. Baseia-se no conceito da *Web Service Modeling Framework* (WSMF) introduzida por Fensel & Bussler (2002) e acrescenta alguns melhoramentos, nomeadamente um conjunto de linguagens e uma ontologia formal.

A WSMO partilha com a OWL-S a visão de que as ontologias são essenciais para suportar a descoberta, composição e interoperabilidade automática de *Web Services*. Mas embora partilhem a mesma visão, a OWL-S e a WSMO são bastante diferentes em muitos pormenores e na forma como atingem os mesmos resultados. Na realidade, a WSMO também suporta a quase totalidade dos conceitos introduzidos pela OWL-S e acrescenta ainda elementos adicionais que aumenta a sua aplicabilidade em domínios mais práticos, como conclui Polleres et al. (2005).

Enquanto a OWL-S define explicitamente um conjunto de ontologias que podem ser utilizadas para enriquecer *Web Services* a WSMO estabelece uma *framework* sobre a qual esse tipo de ontologias devem ser criadas e os modelos semânticos produzidos. A WSMO estabelece 4 elementos principais no modelo que define os vários aspectos dos SWS:

As *Ontologies* representam o elemento chave na WSMO. Estabelecem a definição semântica formal da informação e ligam as terminologias das máquinas com as terminologias humanas. As ontologias da WSMO dão significados aos restantes elementos (*Web Services*, *Goals* e *Mediators*) e providenciam uma semântica comum perceptível por todas as partes envolvidas, máquinas e humanos.

Os *Goals* representam as finalidades que um cliente pretende atingir quando consome um *Web Service*. A maior vantagem da utilização deste elemento é que os clientes apenas necessitam de fornecer uma especificação declarativa daquilo que pretendem. Não precisam de ter qualquer conhecimento prévio de nenhum *Web Service* or pesquisar em qualquer registo global ou catálogo por serviços que possam satisfazer a finalidade pretendida. Um *Goal*, no contexto da WSMO, é simplesmente caracterizado por uma capacidade e respectiva interface.

Os *Web Services* são o elemento que, efectivamente, providencia a fun-

cionalidade nesta *framework*. Devem ser, obrigatoriamente, descritos em termos semânticos para habilitar, pelo menos, a sua utilização de forma semi-automática. Adicionalmente, deve ainda ser definido a sua capacidade funcional e a respectiva interface - o *Goal* que permite atingir.

Os *Mediators* são utilizados para mapear os elementos baseados em diferentes tecnologias como, por exemplo, estruturas de entrada e saída, lógica de negócio ou protocolos de troca de mensagens.

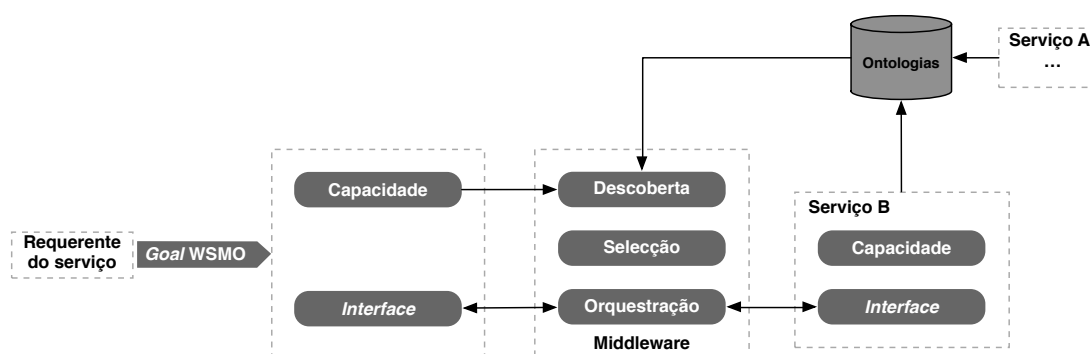


Figura 3.1: Cenário típico da utilização da WSMO

Num cenário de uso típico, ilustrado na figura 3.1, os diversos parceiros começam por modelar os seus serviços utilizando a WSMO. De seguida o cliente envia um pedido de, por exemplo, uma ordem de compra. A WSMO estabelece, entretanto o *Goal* correspondente a enviar para o *middleware* que é responsável por executar as tarefas semânticas - descoberta, selecção e orquestração. Durante a descoberta é feita uma correspondência entre o *Goal* pretendido com os potenciais serviços conhecidos. Na fase de selecção é escolhido o serviço que melhor se adequa às eventuais restrições impostas pela definição de *Goal* enviada pelo cliente (*Supplier B* no exemplo). Finalmente, durante a orquestração, ocorre a execução e o diálogo entre o cliente e o serviço do *Supplier B*, processando a descrição coreográfica do *Goal* do cliente e o serviço do *Supplier B*.

### 3.1.3 Disponibilidade geral

Os esforços de investigação produziram já muitas linguagens e *frameworks* no âmbito dos SWS mas não se verifica ainda uma adopção generalizada pela

indústria. Nem a maturidade da OWL-S ou a abordagem mais pragmática da WSMO foram ainda consideradas suficientes para estabelecer os SWS como “o novo standard” preconizado há quase uma década. Middleton et al. (2012) aponta sérias lacunas na área da segurança que ainda se encontram por responder e que, quando forem finalmente implementadas, podem resultar em alterações dramáticas nos standards forçando eventuais *early-adopters* a construírem as suas soluções de novo.

A pesquisa levada a cabo na tentativa de encontrar ferramentas e componentes de software que pudessem auxiliar na criação de uma solução de integração baseada em SWS permitiu encontrar alguns produtos que importa referir.

O **OWL-S Composer**<sup>1</sup> é um plugin *open source* para a plataforma Eclipse<sup>2</sup> que permite a composição gráfica de *Web Services*. A versão mais recente à data da escrita era a 0.4 com a classificação de ser uma versão “alpha”. As últimas contribuições para este projecto *open source* ocorreram em 2009 e desde então parece ter sido abandonado.

A **OWL-S API**<sup>3</sup> é uma API para aplicações escritas na linguagem de programação Java que permite aos programadores criar, ler, escrever e executar serviços simples ou compostos enriquecidos com OWL-S criar por Cliffe & Scotney (2009). A versão mais recente à data da escrita era a 3.0 e foi publicada em 2009. A ligação para a *mailing list* do projecto não funcionou em todas as tentativas efectuadas ao longo deste projecto. Existe uma forte convicção de que se trata de mais um projecto defunto.

A **OWL-S Builder**<sup>4</sup> é uma biblioteca *open source* que permite acrescentar informação semântica a *Web Services* Java escritos com frameworks vulgarmente utilizadas para o efeito (Apache CXF, JAX-WS, etc). A biblioteca permite gerar a informação semântica directamente de anotações Java presentes no código fonte. Infelizmente, um pouco como os restantes projectos, também não teve qualquer contribuição no seu repositório desde 2010.

O **WSMO Studio**<sup>5</sup> oferece um ambiente de modelação de SWSs baseado na WSMO. É, tal como o OWL-S Composer, um plugin *open source* para a plataforma Eclipse. O sistema de versionamento não é claro o suficiente para poder

---

<sup>1</sup><http://sourceforge.net/projects/owl-scomposer/>

<sup>2</sup><http://www.eclipse.org/>

<sup>3</sup><http://on.cs.unibas.ch/owls-api/>

<sup>4</sup><https://wiki.bath.ac.uk/display/owlsbuilder/OWL-S+Builder+Docs>

<sup>5</sup><http://sourceforge.net/projects/wsmostudio/>

aferir-se o estado de maturidade do produto, sabendo-se apenas que mantém a classificação “beta”. Como os restantes, também parece um produto abandonado e a última contribuição para o repositório data de 2009. As listas de discussão nunca apresentaram grande movimento e também não contam com qualquer participação desde há algum tempo. Apenas, após muitas tentativas, foi possível executar a aplicação, tendo sido necessário recorrer a uma máquina virtual com uma versão do sistema operativo Windows relativamente antiga.

O **Web Service Modeling eXecution environment**<sup>6</sup> (WSMX) é anunciado como sendo a implementação de referência da WSMO. Trata-se de um ambiente de execução de SWSs *open source*. A versão mais recente disponível à data da escrita era a 1.0 com a classificação de “beta”. Também recebeu a última contribuição no seu repositório em 2009 e aparenta ter sido igualmente abandonado.

O **Web Service Modeling Toolkit**<sup>7</sup> (WSMT) é um *frontend open source* para o WSMX. Não foi possível ter acesso ao código fonte do projecto para aferir a eventual existência de contribuições recentes mas a falta de publicação de novas versões desde 2009 deixa a ideia que se possa tratar de ainda mais outro projecto defunto.

A lista anterior não produzida apenas com os primeiros resultados de um motor de busca. São o resultado de vários apontadores de *websites* de referência e mesmo de alguns artigos de investigação.

O padrão que se conseguiu identificar é que, praticamente, todos eles têm, ou tiveram, algum tipo de afiliação com instituições académicas. Uma rápida consulta dos nomes de alguns dos autores das mesmas permitiu encontrar múltiplas publicações dos mesmos o que leva à conclusão que a comunidade científica é talvez a única que se encontra activamente empenhada em tornar acessíveis estes tipos de ferramentas.

A falta de melhores ferramentas e componentes de suporte não tornariam viável a construção de uma solução de integração, baseada em SWS, no âmbito deste projecto. Por essa razão o rumo da investigação debruçou-se posteriormente em soluções clássicas de integração que são discutidas nas próximas secções.

---

<sup>6</sup><http://www.wsmx.org/>

<sup>7</sup><http://sourceforge.net/projects/wsmt/>

### 3.2 Enterprise Service Bus

A crescente complexidade das aplicações tem favorecido a adopção de princípios e arquitecturas baseados em SOA. Vários autores têm contribuído para a definição dos ESB, tais como Ahuja (2011); Keen et al. (2004); Menge (2007); Schmidt et al. (2005). Breest (2006) define o ESB como uma camada de abstracção na forma de um *middleware* que integra diferentes componentes de software em sistemas de larga escala através de um sistema de mensagens controlado por eventos. Estes sistemas de mensagens são muito vulgares em sistemas de integração e encontram-se quase sempre nas implementações de soluções baseadas em SOA.

Tecnicamente, o ESB é considerado um *backbone* de troca de mensagens que suporta conversões entre diferentes protocolos, transformação de mensagens, orquestração e roteamento de mensagens entre diferentes serviços ou aplicações interligadas por via do ESB. É a sua responsabilidade estabelecer a *lingua franca* utilizada por todos os serviços na troca de informação, independentemente da sua localização ou requisitos de invocação de outros serviços.

Keen et al. (2004) acrescenta que um ESB consiste numa *framework* extensível à qual podem ser facilmente acrescentados novos serviços e que um serviço publicado num ESB pode ser despoletado tanto por um qualquer cliente típico ou por eventos.

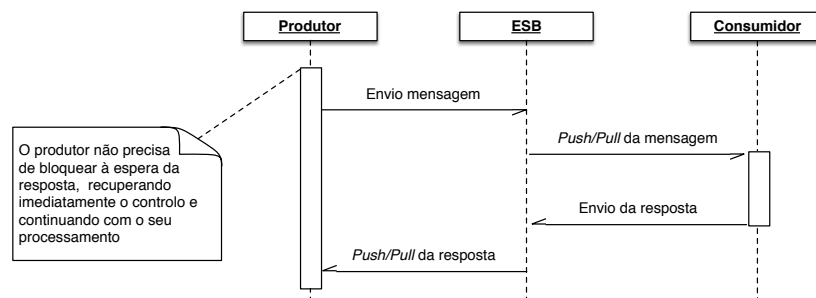


Figura 3.2: Modelo de interação assíncrona de um ESB

O ESB deve suportar interacções síncronas ou assíncronas entre um ou mais agentes em diversas topologias - *one-to-one*, *one-to-many* ou *many-to-many*. É muito habitual, no entanto, que seja efectuado de forma assíncrona como ilustra a figura 3.2.

Segundo Mahmoud (2013); Keen et al. (2004) um ESB é o *backbone* ideal

para implementar SOAs porque providencia mecanismos universais para interligar todos os serviços necessários numa solução empresarial integrada sem nunca comprometer a segurança, robustez, performance ou escalabilidade. Para garantir uma maior flexibilidade, entre o conjunto de serviços, eles devem ser *Stateless*, ou seja, invocações sucessivas do mesmo serviço devem ser independentes umas das outras.

O ESB pode utilizar um conjunto diversificado de mecanismos tais como filas de mensagens, sistemas de mensagens *Pub/Sub*<sup>8</sup> ou *Web Services* para habilitar a integração entre as diferentes aplicações. Graças aos standards publicados pela W3C (2002) e pela Web Services Interoperability Initiative (WS-I) (2004) os *Web Services* são considerados um standard ideal para garantir interoperabilidade. Garcés-Erice (2009) refere, no entanto, que num ambiente controlado, tal como as grandes organizações, a solução mais prática é muitas vezes a utilização de um mecanismo proprietário de troca de mensagens. Esta escolha deve-se, principalmente, à vantagem da performance que pode ser atingida pela utilização de protocolos menos complexos e verbosos. Claro que isto só é possível na ausência da necessidade de suportar sistemas mais antigos e processos desactualizados.

A solução mais tradicional para garantir a integração de diferentes aplicações é, como já referido, os *Message-Oriented Middleware* (MOM). Os ESB oferecem as suas capacidades de *messaging* assíncrono e independência entre as diferentes aplicações apenas por utilizarem o paradigma da solução de MOM que adoptarem.

### ***Message-Oriented Middleware***

As organizações necessitam de soluções de integração robustas e extensíveis. Segundo o parecer de Menge (2007), optam, hoje em dia, por soluções que adoptem normas standard. Este é o caso dos MOM. Os sistemas MOM são construídos utilizando um sistema de fila de mensagens habitualmente chamado de *message broker*. O função principal do *message broker* é providenciar um interface único para enviar e receber mensagens.

---

<sup>8</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Publish-subscribe\\_pattern](http://en.wikipedia.org/wiki/Publish-subscribe_pattern)

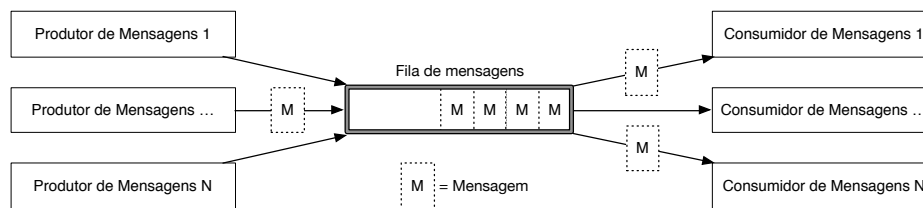


Figura 3.3: Fila de mensagens

A fila de mensagens é um conceito fundamental dos MOM. As filas providenciam o mecanismo de armazenamento da plataforma. É este elemento central que habilita a interacção assíncrona dentro de um MOM. Uma fila, tal como a da figura 3.3 é para onde são enviadas as mensagens e de onde podem ser obtidas. É muito comum serem armazenadas com uma ordenação particular, sendo o método *First In, First Out* (FIFO) o mais vulgar.

O armazenamento das mensagens permite que o emissor e o receptor não necessitem de estar ligados em simultâneo. Dentro deste *middleware* as mensagens podem ser encaminhadas utilizando diferentes estratégias o que permite o envio de uma única mensagem a mais que um destinatário (*Pub/Sub*).

Um cenário típico é uma organização que tem dezenas ou centenas de aplicações que podem ter sido desenvolvidas internamente, adquiridas a *third-parties* ou mesmo parte de sistemas desactualizados. A título de exemplo, vamos assumir uma organização com três instalações de um ERP, 15 *websites* e um sem número de diferentes soluções nos diferentes departamentos. Todas estas aplicações devem ser capazes de comunicar e trocar informação entre elas de forma a contribuírem para o negócio da organização. O problema não será o número de aplicações em si, aliás, existem muito boas razões para utilizar diversas aplicações distintas. A opinião de Mahmoud (2004) é que se torna praticamente impossível criar uma super-aplicação que responda a todos os requisitos de uma organização, porque são sempre demasiados e bastante distintos. Acrescenta também que, ao optarem por múltiplas aplicações, os *IT Managers* conseguem escolher, individualmente, aquelas que respondem melhor aos requisitos particulares de problema.

Torna-se ainda mais desafiante o cenário de EAI quando existem necessidades de integração com aplicações de parceiros externos à organização. Além disto, em qualquer um dos cenários, o número de aplicações não é fixo e está sempre sujeito a mudanças. As aplicações podem ser trocadas e novas aplicações adquiridas para satisfazer eventuais novos requisitos. A infra-estrutura de integração deve lidar harmoniosamente com esta realidade.

## Modo de funcionamento

A melhor forma de compreender como funciona um MOM é descrever todo o processo passo por passo. Cada cliente estabelece uma ligação a um ou mais servidores que actuam como intermediários (*middleware*) no envio e recepção de mensagens através de um mecanismo de RPC. Os MOM utilizam uma topologia ponto a ponto com cada cliente individual. Nesta topologia cada ponto pode enviar mensagens para qualquer um dos outros pontos bem como receber mensagens de qualquer um deles.

Num modelo tradicional de RPC são habitualmente estabelecidas ligações entre todos os elementos. A ideia é bastante elementar e resulta num grafo completamente ligado em que, para  $n$  elementos deverão existir  $n / 2 * (n - 1)$  arestas, ou ligações, neste caso. Se a comunicação ocorrer de forma unidireccional o modelo transforma-se num grafo orientado e o número de arestas sobe consideravelmente para  $n * (n - 1)$ . O número de ligações necessárias cresce de forma quadrática relativamente ao número de sistemas a interligar. Por exemplos, para interligar 2 sistemas RIS a 2 ERP seriam necessárias 6 ligações mas bastaria acrescentar mais 4 sistemas RIS para que o número de ligações necessárias subisse drasticamente para 28.

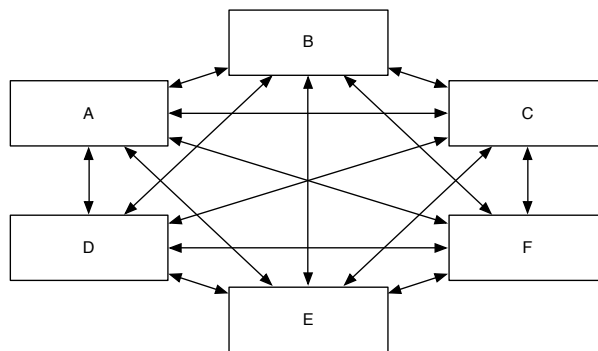


Figura 3.4: Ligações num modelo tradicional RPC

A figura 3.4 demonstra a complexidade e o problema de escalabilidade num modelo tradicional de RPC de integração.

*Hohpe & Woolf (2004)* demonstram uma solução para este problema numa topologia conhecida como *Hub-and-Spoke*. De uma forma geral consiste em evitar a explosão de ligações para todas as combinações possíveis se for colocado um elemento central (*Hub*) que comunica com todos os outros elementos (*Spokes*). Nesta topologia o número de ligações é igual ao número de elementos do sistema,

ou seja, o seu crescimento é linear.

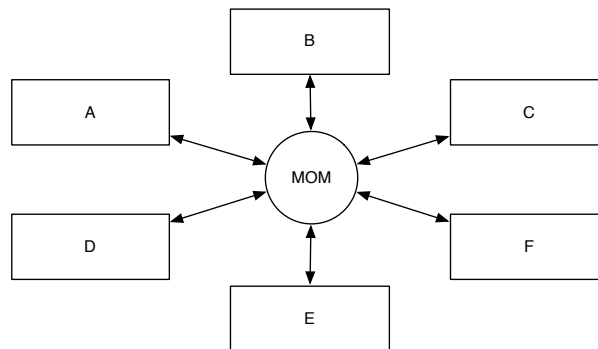


Figura 3.5: Ligações numa topologia *Hub-and-Spoke*

O modelo da figura 3.5 é aquele em que se enquadra um MOM. Tanenbaum & Van Steen (2007) descrevem-no de forma exemplar, referindo que o modelo é semelhante ao serviço de correios. As cartas são entregues na estação de correios e o serviço de correios é responsável por entregar essas cartas aos respectivos destinatários. O facto de todas as mensagens passarem pelo MOM é também uma forma de auditar todo o sistema e controlar o fluxo de todas de mensagens.

### 3.3 Health Service Bus

No âmbito deste projecto considerou-se necessário investigar que trabalhos haviam sido desenvolvidos na área específica da informática da saúde, ou *e-Health*, como é habitualmente apelidada. A integração de sistemas baseadas em normas standard é um dos conceitos fundamentais dos ESB, como já havia sido referido, e isto faz deles uma excelente base de trabalho no universo da *e-Health*, tão preenchida que é de protocolos e normas standard.

Um dos grandes desafios no campo da *e-Health* é, de acordo com a OpenEHR Foundation (2002), a partilha da informação, nomeadamente, entre sistemas de forma automática. Num dos seus livros, Taylor (2006), define os três maiores desafios da *e-Health*:

1. Ler e escrever registos de pacientes;
2. Criação de conhecimento médico;
3. Acesso ao conhecimento médico;

A resposta para todos estes desafios é a interoperabilidade. A definição de interoperabilidade nesta área foi alvo de investigação pelo HL7 Interoperability Work Group (2007), parte do *Electronic Health Record Technical Committee*. O resultado desses estudos demonstrou que existiam, na realidade, três definições distintas de interoperabilidade na indústria da *e-Health*. Na prática essas definições correspondiam a três níveis hierárquicos de interoperabilidade.

O **primeiro nível** é a interoperabilidade técnica que envolve a transmissão de dados entre as diferentes aplicações e sistemas através da rede. Como foi analisado nas secções anteriores, os ESB suportados por MOM são a melhor solução para este tipo de problema.

O **segundo nível** é, talvez o mais difícil de atingir, a interoperabilidade semântica. Não se trata apenas de enviar e receber mensagens mas da capacidade de acrescentar significado a essas mensagens. A interoperabilidade semântica consiste, então, na troca de informação com significado associado ao seu contexto. É uma evolução da mera transmissão de uma mensagem para transmitir também a intenção e o significado dos dados de uma forma que esse significado seja igualmente perceptível por ambas as partes - o emissor e o receptor.

O **terceiro nível** é a interoperabilidade dos processos. Refere-se aos aspectos sociais ou *workflow* da interoperabilidade.

Qualquer solução que pretenda responder ao desafio da integração da *e-Health* terá de cumprir estes requisitos. A proposta de um HSB por Ryan & Eklund (2010) foi a única solução encontrada que respondia a todos eles, incluindo a interoperabilidade semântica. Assenta igualmente num ESB pelo que a interoperabilidade técnica também é garantida.

Nessa proposta são apresentados *Translation Services* baseados em XSLT, descritos noutra publicação de Ryan & Eklund (2009), que transformam mensagens *Health Level Seven v3 (HL7)*<sup>9</sup> para *Health Level Seven v2*<sup>10</sup> e OpenEHR. A estrutura e o conteúdo dessas mensagens providenciam o nível da interoperabilidade semântica do HSB graças ao trabalho anterior de Ryan & Eklund (2008).

---

<sup>9</sup>[http://www.hl7.org/implement/standards/product\\_brief.cfm?product\\_id=186](http://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=186)

<sup>10</sup>[http://www.hl7.org/implement/standards/product\\_brief.cfm?product\\_id=185](http://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=185)

## 3.4 OpenEHR

A *OpenEHR Foundation* é uma organização independente e sem fins lucrativos e também uma comunidade cujo objectivo é a facilitar a criação e partilha de *Electronic Health Records* (EHR) tanto aos consumidores como aos clínicos, através de implementações *open-source* baseadas em standards. Resulta da união dos esforços de uma década em investigação e desenvolvimento especificando requisitos, modelos de informação e sistemas EHR. Todos os detalhes da infusão da fundação foram publicados por Kalra et al. (2005).

Em termos práticos, a OpenEHR tem como propósito a criação e manutenção de dois tipos de artefactos - os *archetypes* e os *templates*.

OS *archetypes* são definições formais de atributos e conjuntos deles. Estes atributos deverão ser re-utilizados múltiplas vezes em vários contextos. Exemplos típicos são a medição de Colesterol ou o resultado da observação de uma ressonância magnética a um joelho. Muitos desses atributos podem estar presentes em grupos de atributos, como por exemplo, o resultado da observação a uma Tomografia Computorizada a ambos os joelhos ou o conjunto de todos os resultados de um Hemograma. Os *archetypes* são expressos numa linguagem formal e portanto podem ser interpretados por computadores e ser partilhados entre sistemas. Isto garante a consistência da semântica dos dados dos vários sistemas EHR mas também todos os restantes sistemas, segundo Chen et al. (2008).

O segundo tipo de artefacto são os *templates* e são utilizados para representar logicamente o conjunto de dados específicos de um caso de uso, tais como os itens de dados que constituem um estudo electrolítico ou um relatório de radiologia. O template é constituído por referências aos itens de vários *archetypes* que possam ser relevantes para o caso de uso. Um template pode apenas necessitar e referenciar um ou dois atributos ou grupos de cada *archetype*. Em termos de representação técnica os *templates* não podem violar a semântica dos *archetypes* a partir dos quais são construídos. São tipicamente reflectidos nos écrans de aplicações na forma de campos de dados ou documentos e correspondem, por isso, a definições operacionais de conteúdo.

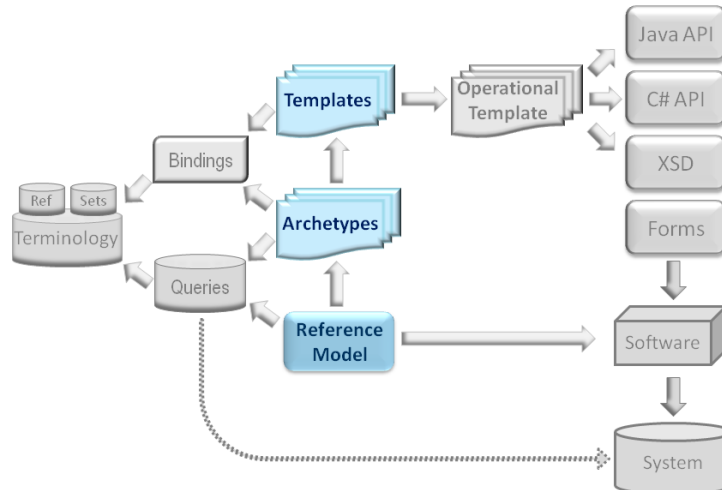


Figura 3.6: Modelação em múltiplos níveis criada pela OpenEHR (2002)

Esta abordagem inovadora da OpenEHR com a modelação em múltiplos níveis ilustrada na figura 3.6, os *archetypes* introduzidos por Beale & Heard (2007a,b), convertidos em standards pela CEN - European Committee for Standardization (2007) deixam-nos mais próximos da interoperabilidade semântica dos EHRs, tal como concluíram Martínez-Costa et al. (2010). Em vez de serem incluídos no próprio código das aplicações, os modelos clínicos são expressos na *Archetype Definition Language* (ADL) e criados pelos próprios profissionais da indústria. Isto tem o duplo benefício de responder ainda melhor aos requisitos clínicos e tornar a instalação e manutenção ainda mais fácil. Os sistemas EHR baseados nos *archetypes* são altamente flexíveis e ajustáveis e podem evoluir quando os requisitos mudam ao longo do tempo.

Todas estas circunstâncias permitiram perceber que as contribuições da OpenEHR são indispensáveis para garantir a interoperabilidade em *e-Health* como havia já sido, aliás, determinado pelos diversos autores citados. A sua maturidade é, só por si, bastante encorajadora para que pudesse ser utilizada também no RSB. Considerou-se, no entanto, importante tentar aferir se existiriam eventuais novidades a ser preparadas por alguns dos corpos de definições de standards que também já foram referidos neste projecto. Foi precisamente uma dessas inovações que surgiu como resultado dessa pesquisa.

### 3.5 *Fast Health Interoperable Resources*

A *Health Level Seven International*, também conhecida como HL7, é uma organização sem fins lucrativos que desenvolve standards para a troca, integração, partilha e obtenção de informação electrónica de saúde. Dois dos standards já referidos são produto desta organização, o HL7v2 e o HL7v3. Enquanto que o HL7v2 ainda hoje se mantém uma escolha muito popular na indústria da saúde já o HL7v3, em desenvolvimento há quase duas décadas para ser o sucessor natural do HL7v2, foi sempre alvo de duras críticas e nunca atingiu os níveis desejados de adopção. Algumas das críticas são a sua incoerência presente mesmo na própria documentação, ser demasiado complexo e demasiado dispendioso para implementar.

A HL7 deu recentemente início a uma nova abordagem no desenvolvimento dos seus standards com o *Fast Health Interoperable Resources*, conhecido por FHIR. Segundo Bender & Sartipi (2013), o FHIR representa o abandono integral dos standards anteriores, tal como o HL7v2 e v3. Até o método de desenvolvimento deste standard é diferente e consiste numa abordagem incremental e iterativa, em reflexo das melhores práticas da indústria no desenvolvimento de sistemas complexos. Tem sido demonstrado por parte da equipa de desenvolvimento do FHIR um foco profundo na usabilidade e na sua adequação aos propósitos.

Com o FHIR o elemento relevante é um *Resource*. Todo o conteúdo transmissível é definido na especificação como um *Resource*. As características que definem todos os *Resources* são:

- Uma forma comum de os definir e representar, sendo construídos a partir de tipos de dados que estabelecem padrões comuns reutilizáveis
- Um conjunto de metadados comum
- Uma parte legível por humanos

A especificação define ainda um tipo particular de *Resource* que são os *Profiles*. As aplicações precisam de poder definir restrições na forma como os *Resources* podem ser referenciados no contexto de diferentes realidades em *e-Health*. Essas restrições também precisam de ser partilhadas em repositórios de definições de *Profiles* e ser utilizadas como base para código fonte de aplicações, relatórios ou geração de interfaces de utilizador. Os *Profiles* consistem em três partes:

- Uma secção de metadados que descreve o *Profile* que permite a sua indexação e pesquisa num repositório
- Estruturas que definem as restrições de utilização de determinados *Resources* e tipos de dados
- Definições de *Extensions* que podem ser utilizadas nas estruturas anteriores

Além do conteúdo principal dos *Resources* e dos seus metadados, cada *Resource* pode ainda ser etiquetado com uma ou mais *Tags*. Estas *tags* podem ser utilizadas para associar informação operacional adicional aos *Resources*, como por exemplo, a gestão de *workflow* e o declaração de cumprimento a determinados *Profiles*. As *Tags* estão presentes em cada *Resource* e são transmitidas em conjunto com cada *Resource*. Não são utilizadas para guardar informação que sejam necessárias para interpretar o conteúdo de um *Resource*, a sua função é devidamente limitada à descoberta e controlo de acesso de um *Resource*, interligando *Resources* a *workflows* técnicos ou clínicos específicos.

Existem ainda mais definições (algumas em construção) na especificação oficial do FHIR (2014). Os elementos aqui descritos são os principais que permitem estabelecer um paralelo com a modelação de múltiplos níveis do OpenEHR. De uma forma algo relaxada, os *archetypes* do OpenEHR deverão corresponder aos *Resources* básicos do FHIR. Os *templates* deverão corresponder ao conjunto *Profile + Tag* do FHIR.

Importa também sublinhar algumas das características do standard que são relevantes no âmbito desta investigação:

- A especificação é totalmente livre e gratuita, o que não se verificava com nenhum dos standards anteriores - HL7v2 ou v3;
- Interoperabilidade *out-of-the-box* - os *Resources* disponíveis permitem responder a praticamente todos os caso de uso mas podem ser ajustados para quaisquer requisitos locais;
- Adopção de normas standards - XML, JSON, HTTP, Atom, OAuth, etc;
- Análise baseada em ontologias com um mapeamento formal rigoroso.

O facto do FHIR estar ainda em desenvolvimento não permite perceber exactamente tudo o que pode ser atingido com a sua adopção. A promessa

dos modelo de desenvolvimento incremental e iterativo garante, no entanto, que possa ser desenvolvido trabalho com as versões actuais que mais tarde possa ser revisto e devidamente ajustado. Espera-se uma adopção global em larga escala uma vez que se trata de um standard da HL7, com provas dadas no que toca aos standards HL7v2 e v3. Por fim, o facto de responder também a todos os requisitos de interoperabilidade identificados até agora oferece algum conforto para a sua potencial utilização no âmbito do RSB.

### 3.6 Conclusões

Os *Enterprise Service Bus* são uma tecnologia orientada a integrações baseadas em normas standard o que responde de forma adequada a uma solução de integração para *e-Health*. Um *Health Service Bus* é capaz de responder a todos os níveis de interoperabilidade definidos pelo HL7 Interoperability Work Group (2007) - técnico, semântico e processual tornando-o uma arquitectura válida para uma solução completa de integração em *e-Health*. A proposta analisada baseada em tecnologias open-source é um excelente ponto de partida para a criação do *Radiology Service Bus* proposto neste projecto.

Não existe ainda um standard único adoptado pela indústria como a solução *de facto* para a troca de dados em *e-Health*. Existem diversos standards que competem entre si para esta meta e ainda existem alguns em desenvolvimento. Qualquer escolha de um standard implicará sempre algum risco pelo que a adopção de um standard como o FHIR não seria totalmente inadequado.



---

---

## CAPÍTULO 4

---

### INTEGRAÇÃO HIS, RIS E PACS

Feito o levantamento dos standards de integração e interoperabilidade em *e-Health*, importa aprofundar o caso particular da integração entre sistemas HIS, RIS e PACS já que o RSB se enquadra exactamente na área particular onde esses sistemas são utilizados.

Em radiologia é imperativa a utilização de instrumentos de diagnóstico tão diversificados como ecógrafos, equipamentos de tomografia computadorizada ou de ressonância magnética. Esses instrumentos de diagnóstico produzem um conjunto de imagens que são posteriormente observadas na pesquisa de eventuais patologias. Torna-se óbvio, portanto, que qualquer uma dessas imagens sejam arquivadas e catalogadas devidamente para que os clínicos desempenhem devidamente a sua função. A comunicação entre o sistema RIS (onde são registadas as admissões e pedidos de observação) e o sistema PACS (onde são arquivadas as imagens capturadas pelos instrumentos) tem de estar, por isso, afinada e bem definida para evitar erros indesejáveis.

Gale & Gale (2000) descreveu aquela que é, ainda hoje, a única resposta dos standards para eliminar estas falhas - a *DICOM Modality Worklist* (MWL). Este standard permite aos sistemas RIS o envio dos dados demográficos dos pacientes para os instrumentos para que assim não se verifiquem quaisquer erros de transcrição ou identificação. No entanto, ainda hoje, muitos instrumentos não

estão habilitados com esta função e os assistentes de radiologia são obrigados a introduzir toda a informação demográfica dos pacientes manualmente nas consolas dos instrumentos. Boochever (2004) estima que a taxa destes erros, inevitáveis, esteja na ordem dos 30%. Por exemplo, se o assistente introduzir o número de identificação da observação errado no instrumento as imagens produzidas podem perder-se no PACS ou, ainda pior, serem associadas a outro paciente. As consequências podem ser que a observação nunca é concluída ou, numa situação mais dramática, o paciente não é diagnosticado pondo em risco a sua saúde.

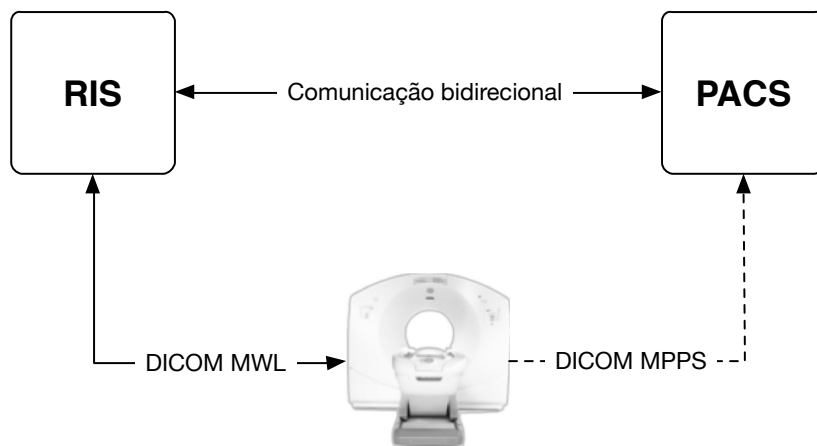


Figura 4.1: Modelo de integração RIS, PACS e instrumentos em Radiologia

Existe ainda um outro standard chamado de *DICOM Modality Performed Procedure Step* (MPPS). Através desse standard os instrumentos notificam o PACS e o RIS do que foi efectivamente efectuado pelo instrumento durante a aquisição de imagens, como ilustrado na figure 4.1. Esta bidireccionalidade permitiria um *workflow* mais optimizado na medida em que não seria necessária qualquer interacção humana para avançar o estado dos exames nas listas de trabalho.

Felizmente tem havido alguma evolução nos mecanismos e formas de integração, cujas vantagens se encontram sobejamente descritas nos estudos de Levine et al. (2003); Kotter & Langer (1998); Keayes & Grenier (1997). A mais frequentemente apontada é a redução dos erros anteriormente descritos. Existem, no entanto, circunstâncias que também parecem impedir maiores avanços, deixando esta situação dos erros para ser mitigada e contornada pelos utilizadores dos HIS, RIS e PACS.

## 4.1 1ª geração de integração

Quase imediatamente após o surgimento dos RIS e PACS foi criado também um dos standards já mencionados, o HL7. O requisito da integração foi imediatamente identificado, como descrito por Keayes & Grenier (1997); Kotter & Langer (1998). Os PACS implementavam o standard DICOM e os RIS encontravam-se preparados para o standard HL7. Era necessário habilitar a comunicação entre os componentes e para isso tinha de ser criada uma camada de tradução entre estes dois standards. Esta camada aceitava mensagens HL7 do RIS e procedia à tradução ou mapeamento dos dados para produzir mensagens DICOM para serem enviadas ao PACS. Com esta capacidade os dados já eram transmitidos de forma electrónica e tanto o PACS como os instrumentos (que implementam DICOM) podiam receber dados do RIS.

O que se tornou óbvio foi que, para ultrapassar as limitações de conectividade, foram necessários um conjunto de normas aceites pela indústria. Isto levou a que surgisse uma iniciativa chamada *Integrating the Health Care Enterprise* (IHE). O objectivo desta organização é providenciar, aos utilizadores finais, melhor acesso à informação crítica de pacientes em todos os sistemas de *e-Health*. Os problemas de integração são identificados e o comité da IHE providencia soluções normativas - perfis de integração.

## 4.2 2ª geração de integração

Todos os contributos anteriores melhoraram o panorama da integração mas havia ainda algumas limitações tecnológicas a ultrapassar. Por exemplo, a questão do ditado digital ou reconhecimento de voz também não se encontrava integrada nem no RIS nem no PACS. Os RIS, por seu lado, também não ofereciam quaisquer funcionalidades que permitissem o acesso directo a relatórios ou imagens do PACS. Todo o processo requeria várias operações de referências cruzadas até ser atingido o objectivo pretendido.

Nesta geração de modelo de integração acrescentaram-se funcionalidades de integração aos RIS e isto permitiu aos radiologistas ter acesso às suas listas de trabalho com toda a informação do estado dos exames e histórico de pacientes, incluindo relatórios. Assim que um radiologista seleciona um exame para observação o RIS transmite ao PACS um pedido das imagens do exame selecionado

que são imediatamente disponibilizadas no sistema de visualização de imagens do PACS. O radiologista consegue ter acesso tanto à informação do RIS como do PACS em simultâneo. Não existe a necessidade de confirmar os dados entre os dois sistemas, nem qualquer risco de erro, porque eles estão integrados.

No que toca ao ditado digital já não acontece o mesmo. Para iniciar um ditado o radiologista, normalmente, começa por dizer o número de identificação do exame ou do paciente de forma que outros colaboradores, mais à frente no processo, consigam proceder à associação manual do ditado ao respectivo registo. Como evidenciado por múltiplos autores, este método está sujeito a erros, consome mais tempo do que deve e trava o *workflow* natural do processo.

Com a implementação de sistemas integrados de gestão de relatórios seria possível reduzir as associações e intervenções manuais. O ecossistema dos sistemas de criação de relatórios, constituído por sistemas de reconhecimento de voz, ditado digital e editores de texto devidamente integrados, permitiriam o acesso a qualquer um deles a partir dos interfaces do utilizador seja do RIS ou do PACS. Seria possível a um radiologista dar início a um relatório com a pressão de um simples botão no interface do utilizador do RIS ou do PACS. Esta operação transmitiria electronicamente os dados do paciente e do exame para o sistema de gestão de relatórios, eliminando eventuais problemas de transcrição ou associação. O resultado final - a eliminação total dos erros e um *workflow* contínuo por parte dos radiologistas.

Do lado do RIS, passaria a ser possível o envio de mensagens HL7 para o HIS notificando o progresso dos episódios clínicos, nomeadamente a disponibilidade das imagens médicas e/ou dos relatórios.

### 4.3 Conclusões

Todas as funcionalidades descritas anteriormente são, infelizmente, pouco comuns e raramente encontradas. O artigo de Bochever (2004) indica que a integração entre estes sistemas encontra-se sempre dificultada, não por causa de limitações tecnológicas, mas sim por razões políticas e de mercado. Muitos fabricantes de RIS ou PACS continuam a impor dificuldades de integração como as descritas anteriormente porque, normalmente, também oferecem soluções RIS ou PACS e querem apenas que a sua solução, e não a de outros fabricantes, ofereça uma boa experiência de utilização.

Estas dificuldades dificilmente serão ultrapassadas com qualquer sistemas de integração tais como os ESB ou HSB. A camada de integração que está em falta tem uma natureza distinta. Trata-se de integração ao nível dos interfaces de utilizador e de *User Experience* (UX).



---

---

# CAPÍTULO 5

---

## IMPLEMENTAÇÃO

Os elementos obtidos após a investigação levada a cabo permitiram a criação de uma prova de conceito. Esta prova de conceito pretende demonstrar a relevância de um ESB específico para a área de Radiologia.

Nos capítulos anteriores foram identificadas as arquitecturas mais adequadas e também foi feito um levantamento das tecnologias que poderiam contribuir na construção do RSB. Após cuidada análise dessas arquitecturas e diferentes tecnologias foi possível definir a base do RSB. O principal objectivo é implementar as melhores práticas identificadas e dotar o sistema de interoperabilidade semântica.

Através de um episódio completo de integração, será demonstrado com esta prova de conceito, quando, e como, o RSB pode ser determinante para habilitar as organizações a prestar melhores cuidados de saúde.

### 5.1 Introdução

Nas secções seguintes é possível verificar os critérios de selecção das arquitecturas e tecnologias, dos quais resulta a prova de conceito do RSB. Alguns

dos componentes que fazem parte do RSB são descritos de forma sumária para demonstrar o seu contributo na prova de conceito.

Tratando-se de uma arquitectura orientada a serviços é também efectuada uma breve descrição dos diferentes papéis que os diversos sistemas podem assumir nos cenários de integração.

É ainda apresentado um cenário de integração fictício que pretende exemplificar, precisamente, a interoperabilidade entre diversos sistemas heterogéneos. O cenário assenta num conjunto de operações comuns de uma unidade de radiologia. Essas operações foram observadas múltiplas vezes, por exemplo, nas unidades de radiologia do Grupo BASE. O que isto quer dizer, e que importa sublinhar, é que o cenário apresentado, embora fictício, consiste apenas de eventos realistas que se verificam frequentemente em unidades de Radiologia.

São descritos todos os passos do cenário, detalhando a interacção entre os diferentes sistemas e o RSB. É possível visualizar o conteúdo das mensagens trocadas entre eles e as transformações necessárias, principalmente o recurso a ontologias para extrair o significado semântico de mensagens onde não se verifica a existência desta formalidade.

## 5.2 Protótipo

Esta implementação consiste num protótipo baseado num ESB *open-source*. Num ESB, todas as aplicações e serviços que se ligam ao *Bus* são considerados *endpoints* abstractos.

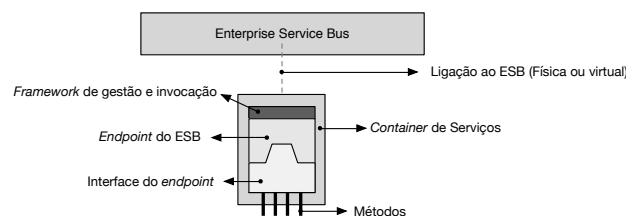


Figura 5.1: *Endpoint* genérico do ESB

A simbologia da figura 5.1, proposta por Chappell (2004), ilustra os detalhes

de um componente individual de um ESB. Este tipo de simbologia é já considerada universal e é capaz de demonstrar composições mais complexas de ESBs.

Para habilitar algumas das funcionalidades do RSB são utilizados alguns serviços ligados ao RSB. Também foi desenvolvida uma aplicação cliente capaz de enviar mensagens especialmente preparadas para o efeito do teste e foram ainda utilizadas outras aplicações capazes de enviar mensagens no formato desejado. A tradução de mensagens é efectuada da mesma forma que sugeriu Ryan & Eklund (2009), embora com FHIR.

A figura 5.2 contém todos os componentes do protótipo do RSB.

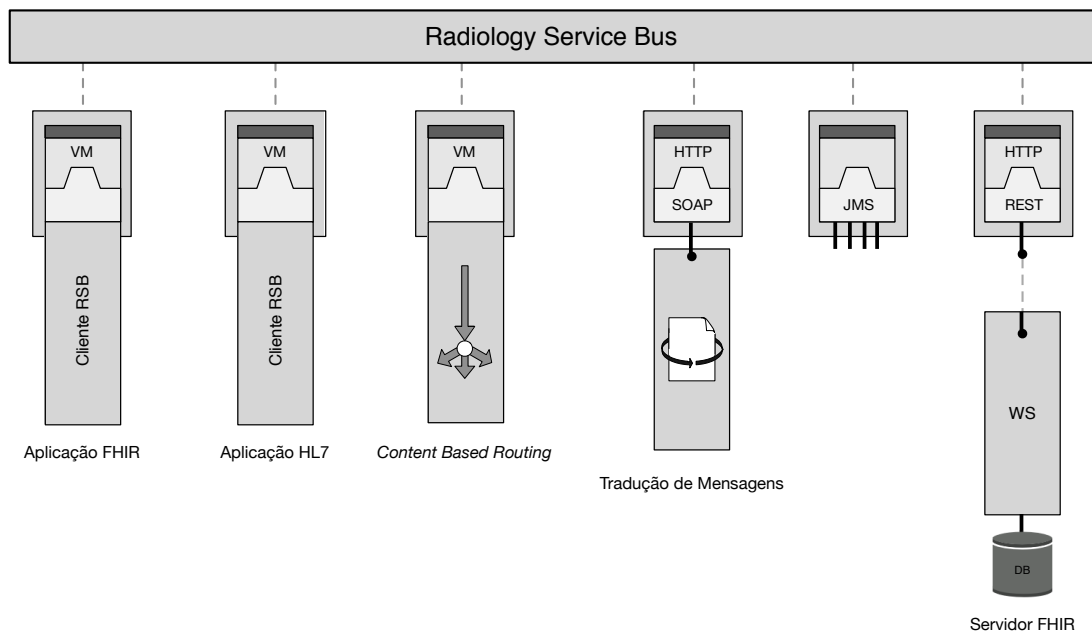


Figura 5.2: Componentes do protótipo do RSB

Importa, assim, definir as diferentes papéis das diversas aplicações e serviços ligados ao *Bus*.

### 5.2.1 Serviços

O RSB permite a interligação e interoperabilidade de várias aplicações resultando naquilo que se define como agregação de serviços. Os tipos de sistemas que utilizam o RSB são os “Consumidores de Serviços” e os “Prestadores de Serviços”.

A aplicação que envia o registo das observações ao RSB comporta-se como um consumidor de serviço - uma aplicação que requer e executa um serviço. O serviço externo da seguradora é um exemplo de um prestador de serviço - uma aplicação que fornece o serviço de validação de apólices. Neste contexto, interligação e interoperabilidade são requisitos distintos que, em conjunto, constituem a referida agregação de serviços. Interligação significa que tanto consumidores como prestadores de serviços têm uma forma comum de comunicarem entre eles e que, por fim, lhes permite interoperar em conjunto, trocando mensagens e informação.

As propostas analisadas nos capítulos anteriores forneceram bases essenciais para determinar as tecnologias e componentes que podem auxiliar na implementação do RSB. O estudo de Ryan & Eklund (2010) foi aquele que mais se aproximou dos objectivos traçados e o conceito encaixa perfeitamente em termos de funcionalidades, sendo que essa proposta assentava num ESB. Tal como nesse caso, não existe necessidade de desenvolver de raiz o RSB uma vez que já existem diversas implementações *open-source* de ESB. O RSB pretende ser um sistema cujas características também o definem como um ESB, com particularidades para a disciplina de Radiologia.

O RSB deverá ser capaz de interligar “Consumidores de Serviços” internos com “Prestadores de Serviços”, tanto internos como externos, de uma forma que lhes permita interoperar uns com os outros. Esta proposta permite a interligação de aplicações e serviços que utilizem os standards WSDL, SOAP, HL7v2 e v3 e, por fim, FHIR. Tal como na proposta de Ryan & Eklund (2010), existe um serviço de tradução entre os standards que não estejam dotados de significado semântico para o FHIR, garantindo assim interoperabilidade semântica.

### 5.2.2 *Radiology Service Bus*

Como já referido, o componente principal do RSB é um ESB. Foi feito um levantamento das soluções *open-source* disponíveis e identificaram-se vários candidatos para este papel.

O **Petals ESB**<sup>1</sup> foi criado em 2004, como resultado de um projecto de investigação francês - o projecto JOnES. O seu principal objectivo era criar um ESB com uma escalabilidade massiva, sem perda de performance ou fiabilidade. Devido a isso, uma das suas características distintas é o seu aspecto distribuído.

---

<sup>1</sup><http://petals.ow2.org/>

Múltiplos servidores podem constituir um único ESB virtual. Em conjunto com os princípios SOA, isto oferece muita flexibilidade nas arquitecturas que podem ser implementadas com o Petals ESB - alta disponibilidade, *fail-over*, replicação, etc. O Petals ESB suporta diversos protocolos de comunicação tais como SOAP sobre HTTP(S), Mail, FTP, SFTP, entre outros. Também suporta diversas normas standard tais como *Web Services*, WS-Security, XSLT, XML Schema e *Java Business Integration*<sup>2</sup> (JBI).

O **Open ESB**<sup>3</sup> é um projecto iniciado pela *Sun Microsystems* no final da década de 00. Também assenta em normas standard como XML, XML Schema, WSDL, BPEL e JBI para garantir suporte às mais diversas tecnologias e sistemas. Este ESB também é baseado na norma JBI. Os componentes JBI são utilizados para orquestrar os processos e interligar os vários sistemas.

O **Fuse ESB**<sup>4</sup> combina diversas tecnologias e funcionalidades. Para as funcionalidades de ESB depende de outros produtos *open-source* como o Apache Camel<sup>5</sup>, Apache CXF<sup>6</sup> e Apache ActiveMQ<sup>7</sup>. Graças a estes, suporta automaticamente uma vasta colecção de conectores implementando as mais variadas normas e protocolos como HTTP, JMS, JBI, etc.

O **Mule ESB**<sup>8</sup> é outro ESB que facilita a integração de diferentes sistemas, independentemente das diferentes tecnologias que possam adoptar, incluindo JMS, *Web Services*, *Java Database Connectivity* (JDBC), HTTP, entre outros. É a primeira solução desta lista que não assenta na norma JBI. A funcionalidades mais avançadas requerem licenças comerciais.

O **Apache ServiceMix**<sup>9</sup> é um ESB que também combina um conjunto de outros produtos *open-source* (coincidentemente, são também projectos da *Apache Foundation*) tais como Apache ActiveMQ, Apache Camel, Apache CXF e Apache Karaf. Tal como o Fuse ESB, também suporta JBI, embora os seus autores considerem essa norma desactualizada e proponham alternativas mais modernas.

Da lista anterior emerge uma norma quase sempre presente e que atraiu alguma atenção, a norma JBI.

---

<sup>2</sup><https://jcp.org/en/jsr/detail?id=208>

<sup>3</sup><http://www.open-esb.net/>

<sup>4</sup><http://www.jboss.org/products/fuse/overview/>

<sup>5</sup><http://camel.apache.org/>

<sup>6</sup><http://cxf.apache.org/>

<sup>7</sup><http://activemq.apache.org/>

<sup>8</sup><http://www.mulesoft.org/>

<sup>9</sup><http://servicemix.apache.org/>

## *Java Business Integration*

A especificação JBI define as normas de um ambiente de integração para Java. Java é a linguagem em que foram criados todos os ESBs anteriores. Foi possível identificar os seguintes ESB que adoptam a norma JBI:

- Open ESB
- Petals ESB
- Apache ServiceMix
- Fuse ESB
- Mule ESB (embora não cumpra a norma JBI providencia alguns componentes de compatibilidade através de um projecto separado Mule-JBI)

O excelente artigo em duas partes de Siddiqui (2010a) sugere precisamente a utilização de um destes ESBs e foca-se principalmente na norma JBI. Nos seus artigos constam algumas notas interessantes de como personalizar os componentes do JBI de forma a acrescentar outros standards, além do WSDL e SOAP.

Uma pesquisa mais aprofundada sobre esta norma revelou, no entanto, que talvez não fosse a melhor opção. Das várias pesquisas levadas a cabo foram encontradas várias sugestões para não implementar nenhum projecto novo baseado em JBI, alegando que esta norma já se encontrava obsoleta. Um dos argumentos encontrados, da autoria de Nodet (2010) (reputado membro de vários projectos *open-source* e VP da *Apache Karaf* e *Apache Software Foundation*), enumera algumas razões pertinentes para não ser adoptada a norma JBI:

1. A especificação original do JBI não correspondeu a todas as expectativas;
2. A segunda versão da norma nunca chegou a ser publicada nem se espera que alguma vez venha a ser;
3. As organizações e fabricantes de ESB que suportavam a norma JBI estão praticamente todos em processos de migração para outras tecnologias.

As alternativas normalmente apontadas são Apache Camel ou Spring Integration<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup><http://projects.spring.io/spring-integration/>

Da lista de ESBs anterior verificou-se que o Fuse ESB baseava-se exactamente nos mesmos componentes que o Apache ServiceMix. Depois de aprofundar um pouco mais concluí-se que, na realidade, trata-se do mesmo produto base e mais algumas funcionalidades extra. O componente mais relevante destes dois produtos é, efectivamente, o Apache Camel que disponibiliza o sistema de encaminhamento de mensagens, nos mais diversos formatos e protocolos.

A comunidade open-source recomenda, normalmente, a adopção de um dos dois ESB - FuseESB ou Apache ServiceMix e, no âmbito deste trabalho, optou-se também pelo Apache ServiceMix. O desenvolvimento concentrou-se na criação de um componente para o Apache Camel, o camel-fhir.

## **Apache Camel**

Na breve descrição das funcionalidades apresentada anteriormente já havia sido identificado o suporte da norma JBI no Apache ServiceMix. No caso do RSB não havia interesse em adoptar essa norma, devido às circunstâncias já apresentadas, mas seria necessário estender a funcionalidade do ServiceMix para utilizar o FHIR.

Recuperando as características do FHIR, apresentadas no capítulo 3.5, importa recordar que o FHIR já disponibiliza uma RESTful API sobre HTTP e que esta arquitectura coincide com aquela que é disponibilizada pelo ServiceMix, mais concretamente, pelo seu componente Apache Camel.

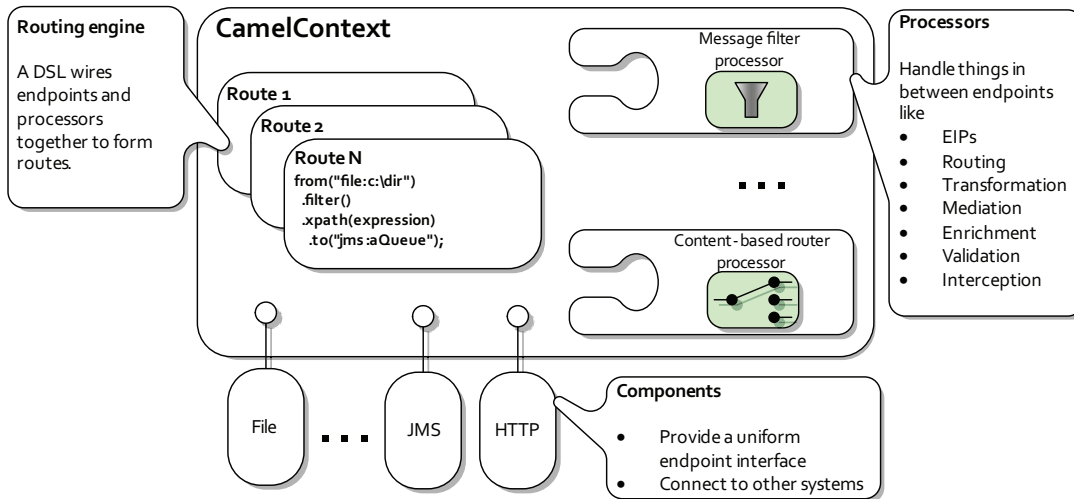


Figura 5.3: Arquitetura do Apache Camel (Ibsen & Anstey (2010))

O Apache Camel consiste, muito sucintamente, num motor de encaminhamento de mensagens. Para tal são definidas rotas nas quais se definem pontos de comunicação com outros sistemas. Esses pontos são considerados *Endpoints*. Um *Endpoint* pode ser definido por um componente tanto para a entrada como para a saída de uma rota. Estes dois tipos de *Endpoints* são conhecidos como:

- **Consumer endpoints** que aceitam mensagens de outros sistemas. Surgem sempre no início de uma rota e são responsáveis por receber o pedido do sistema externo e por devolver uma eventual resposta a esse sistema. São estes os *endpoints* utilizados pelos “Consumidores de Serviços” (CS) referidos na secção 5.2.1.
- **Producer endpoints** que enviam mensagens a outros sistemas. Surgem sempre no final de uma rota e são responsáveis pelo envio de mensagens aos sistemas externos e por receber a resposta a esses pedidos. São estes os *endpoints* que actuam como consumidores dos “Prestadores de Serviços” (PS) referidos na secção 5.2.1.

Para estender o Apache Camel de forma a suportar o FHIR utilizou-se a sua API de componentes. O Apache Camel permite construir novos componentes de raiz ou baseados em componentes já existentes. A vasta lista de componente existente<sup>11</sup> suporta diversos protocolos e canais de comunicações, facilitando bastante o objectivo de criar um componente para o FHIR. Este novo componente, o

<sup>11</sup><http://camel.apache.org/components.html>

camel-fhir, implementa ambos os *endpoints* - *consumer* e *producer*. São estes que permitem a recepção de mensagens FHIR nativas e também o envio para outros serviços externos que adotem a norma.

Apenas a criação dos *endpoints* não é, no entanto, o suficiente para atingir o objectivo da interoperabilidade semântica. Para isso é necessário também implementar um conjunto de *Processors*. Um *Processor* no Apache Camel é capaz de, entre outras tarefas, transformar mensagens de um formato para outro. É neste contexto que se vai habilitar o camel-fhir a traduzir mensagens em formatos desprovidos de semântica para o FHIR, e vice-versa. Os *Processors* actuam da seguinte forma:

1. Um *consumer endpoint* recebe um pedido de um CS no formato HL7
2. Um *Processor* transforma a mensagem HL7 recebida em FHIR utilizando o serviço de tradução.
3. O *producer endpoint* envia a mensagem no formato do FHIR ao(s) sistema(s) de destino - PS.
4. O sistema de destino devolve uma resposta ao *producer endpoint*.
5. A resposta é transformada de FHIR para HL7.
6. A mensagem HL7 é devolvida ao CS.

Este exemplo permite identificar que a flexibilidade oferecida pelo Apache Camel. A sua biblioteca de componentes e a sua API permitem facilmente aceitar pedidos em diversos formatos, HL7v2 ou v3, OpenEHR ou SOAP. Através do serviço de tradução é possível depois converter esses pedidos para FHIR, deixando depois o pedido progredir, de forma transparente, na cadeia, de acordo com a arquitectura da figura 5.3.

Para construir o componente camel-fhir foi utilizada a biblioteca HAPI-FHIR<sup>12</sup> para acrescentar o suporte ao FHIR. Os serviços de tradução utilizam ontologias de integração que permitem mapear mensagens HL7 para FHIR. Para este efeito recorreu-se ao SNOMED CT<sup>13</sup> como facilitador no mapeamento entre os diferentes protocolos, como sugerido por Ryan & Eklund (2010).

<sup>12</sup><http://jamesagnew.github.io/hapi-fhir/index.html>

<sup>13</sup>SNOMED Clinical Terms (SNOMED CT) - <http://ihtsdo.org/snomed-ct/>

### 5.2.3 API de comunicações

O RSB deverá aceitar pedidos de diversos tipos de CS. O cenário descrito no início deste capítulo demonstra, de forma clara, essa diversidade. Esta diversidade manifestar-se-á, principalmente, nos protocolos e formatos de comunicação que serão utilizados. Espera-se, naturalmente, que alguns desses CS utilizem SOAP ou REST sobre HTTP e HL7 v2/v3 sobre MPPL<sup>14</sup>.

Os sistemas REST (habitualmente apelidados de arquiteturas RESTful), tal como descritos por Fielding (2000), têm sido, cada vez mais, a escolha para implementação de APIs, sendo já a norma dominante na *World Wide Web*. A orientação a “Recursos” desta norma e a característica *Stateless* do protocolo HTTP são os maiores contribuintes para a sua natureza altamente escalável. Muitos fornecedores de serviços na Internet já procederam à migração para serviços RESTful e abandonaram outras implementações como as abordagens clássicas SOAP e WSDL.

Uma implementação de REST segue 4 princípios básicos:

1. Utilização explícita de métodos HTTP (GET, PUT, DELETE, etc);
2. São *Stateless*;
3. Os URIs para os recursos são expostos numa estrutura hierárquica semelhante a uma estrutura de directórios (<http://dominio.pt/pacientes/12>);
4. Os recursos podem ser representados tanto em XML como JSON ou, em alguns casos, em ambos.

As maiores vantagens das arquiteturas RESTful são os interfaces leves e simplificados que permitem maiores velocidades de transmissão e processamento. Características ideais e mais adequadas para dispositivos móveis e *tablets*, como demonstraram Rodrigues et al. (2011) e Hamad et al. (2010). Os interfaces RESTful também contribuem para ciclos de desenvolvimento mais ligeiros e descomplicados devido à natureza simples das estruturas de dados. Os “Recursos” e as suas operações base assemelham-se ao modelo das bases de dados relacionais, onde também são definidas estruturas de dados e estão disponíveis operações para criar, alterar, apagar e ler dados, mas o significado dos dados para uma dada aplicação só é definido nas camadas superiores.

<sup>14</sup>[http://www.hl7.org/implement/standards/product\\_brief.cfm?product\\_id=55](http://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=55)

O RSB implementa, na sua versão de referência, uma arquitectura RESTful que permite a validação dos objectivos estabelecidos numa prova de conceito.

### 5.3 Cenário de integração

O cenário de exemplo, que a seguir se descreve, tem início com a chegada de um paciente a uma unidade de radiologia com um episódio de urgência.

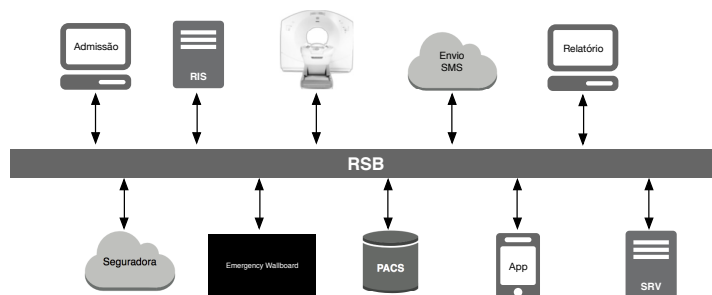


Figura 5.4: Cenário de interligação e interoperabilidade do RSB

A figura 5.4 ilustra, de uma forma muito macro, os sistemas intervenientes no cenário, tanto internos como externos à organização.

Os passos envolvidos no processo são enumerados de seguida. Sempre que um determinado passo despolete uma acção automática do sistema, essas acções automáticas são devidamente identificadas como alíneas desse mesmo passo. Sempre que relevante, é indicado o *Enterprise Integration Pattern* (EIP) aplicado.

1. O assistente responsável pela admissão recebe o paciente e localiza o ficheiro clínico do paciente através de consulta ao RSB.

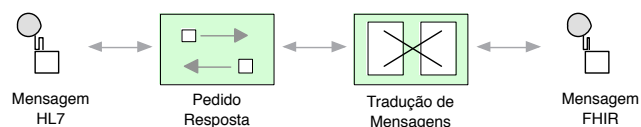


Figura 5.5: Tradução de mensagens HL7/FHIR (EIP: *Message Translator*)

2. Depois de confirmar as observações necessárias procede ao registo das mesmas. O sistema solicita validação do registo, via RSB, à seguradora responsável pelos aspectos financeiros do episódio.

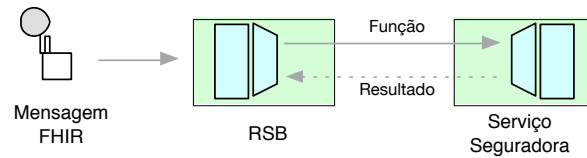


Figura 5.6: Encaminhamento para WS da seguradora (EIP: *Remote Procedure Invocation*)

3. O RSB reencaminha o pedido de observação ao serviço externo da seguradora para validar os dados da apólice. Termina este passo devolvendo a confirmação ao sistema de admissão com dados relevantes de co-pagamento.
  - a) O RSB envia o registo automaticamente para o RIS, acabando na lista de trabalho do departamento responsável pelo procedimento.
  - b) Como se trata de um episódio de urgência, o RSB envia uma notificação para o *Wallboard* do departamento, dando conhecimento aos técnicos de radiologia, aí presentes, da chegada de um paciente de urgência.

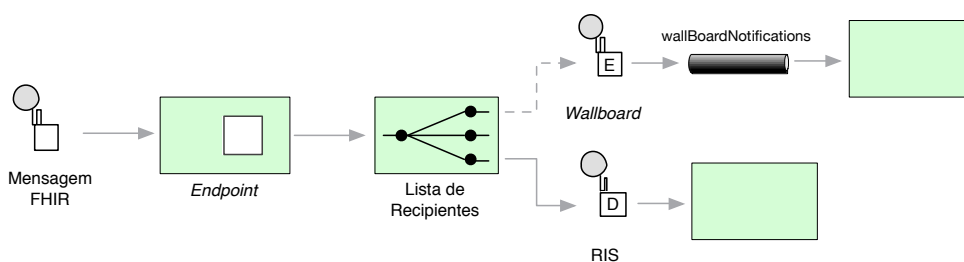


Figura 5.7: Distribuição de mensagem (EIP: *Recipient List*)

4. O paciente é prontamente conduzido ao departamento onde os técnicos de radiologia procedem à aquisição das imagens. O instrumento de aquisição envia as imagens para o RSB.

- a) O RSB arquiva as imagens no PACS
- b) O RSB regista no RIS a quantidade de imagens disponíveis
- c) O RSB envia a um serviço externo de envio de SMS uma notificação dirigida ao radiologista de serviço, alertando-o que existem imagens médicas de um episódio de urgência.

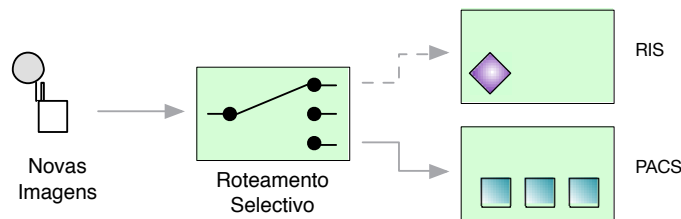


Figura 5.8: Distribuição de acordo com conteúdo (EIP: *Content Based Routing*)

5. O radiologista recebe a notificação no seu *Smartphone* e, utilizando uma aplicação aí instalada, requisita ao RSB informações do episódio de urgência. Opta por utilizar a sua estação de trabalho para poder proceder ao relato.

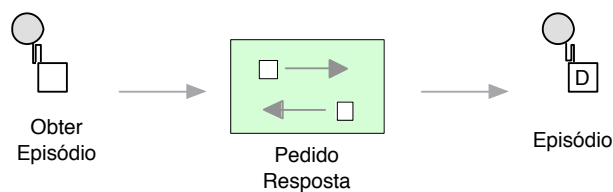


Figura 5.9: Pedido e resposta síncrono (EIP: *Sync Request/Reply*)

6. A aplicação *Web* de gestão de relatórios solicita ao RSB todos os dados do episódio de urgência - dados demográficos do paciente, relatórios anteriores e as imagens médicas entretanto capturadas. O EIP aplicado é o mesmo da figura 5.9.
7. O radiologista fica com algumas dúvidas durante a observação actual e solicita ao RSB imagens de um episódio anterior que o possa auxiliar a

compreender melhor a situação. O EIP aplicado é, novamente, o da figura 5.9.

8. O radiologista fica esclarecido e dá início ao ditado do seu relatório submetendo-o ao RSB assim que termina.
  - a) O RSB submete automaticamente o ditado digital ao SRV porque, de acordo com parâmetros do sistema, no horário actual o departamento de dactilografia não tem pessoal presente.

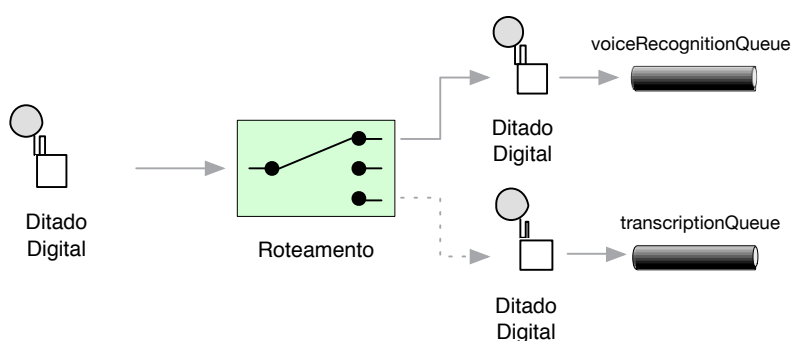


Figura 5.10: Encaminhamento para SRV (EIP: *Message Router*)

9. O SRV conclui o processo e submete o relatório produzido automaticamente ao RSB.
  - a) O RSB anexa o relatório produzido no registo do observação, enviando uma mensagem aos RIS

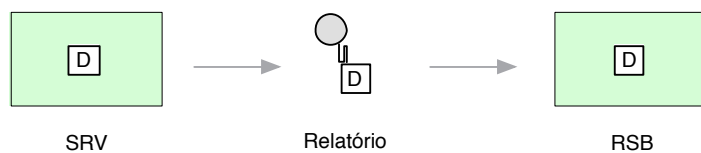


Figura 5.11: Entrega garantida com documento numa mensagem (EIP: *Document Message*)

10. O RSB notifica o radiologista de que o seu ditado foi transcrito e que pode passar à sua validação.

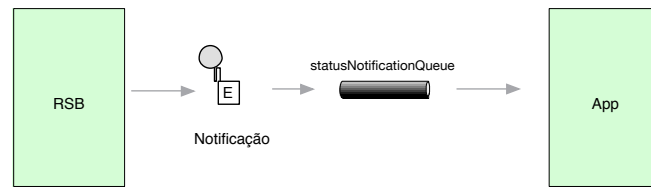


Figura 5.12: Envio assíncrono de notificação (EIP: *Async Request*)

11. O radiologista confirma e submete o relatório com aposição da sua assinatura digital ao RSB.
  - a) O RSB envia uma mensagem ao RIS para dar o episódio como concluído.
  - b) O RSB submete ao serviço externo da seguradora o resumo financeiro do procedimento.
  - c) O RSB notifica o assistente que recebeu o paciente de que a observação está concluída.

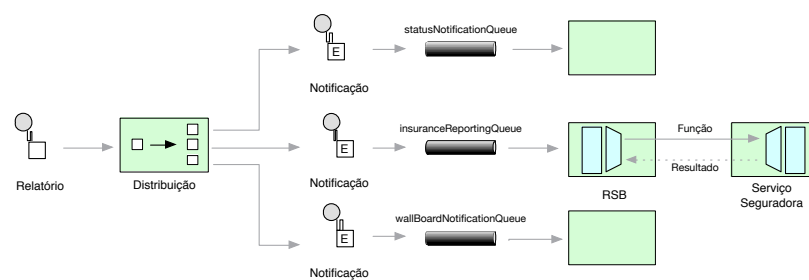


Figura 5.13: Distribuição para múltiplos sistemas (EIP: *Splitter e Publisher-Subscribe*)

Ao longo deste capítulo será descrito como se pretende responder a todas as funcionalidades aqui descritas e ilustradas na figura 5.4, aplicando tecnologias e componentes já analisados ao longo deste projecto.

## 5.4 Prova de conceito

A estratégia escolhida para demonstrar o funcionamento do RSB é por via de uma prova de conceito. O cenário ilustrado na figura 5.4 contém, de certa forma, o conjunto de operações que asseguram as suas capacidades agregação de serviços e de interoperabilidade semântica.

Para os devidos efeitos, o RSB foi instalado localmente, estando disponível no endereço `http://localhost:8080`.

Para encaminhar as mensagens entre os vários consumidores e prestadores de serviços foram criadas rotas, tal como descrito na secção 5.2.2. As rotas mais relevantes configuradas no RSB constam na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Rotas do RSB

HL7 v2	<pre> from("netty4:tcp://localhost:8888?sync=true")   .routeId("route_hl7v2listener")   .to("log:pt.ipv.estgv.mstio.rsb.hl7?level=DEBUG")   .processRef("HL7toFHIRProcessor")   .to("log:pt.ipv.estgv.mstio.rsb.fhir?level=DEBUG")   .recipientList(simple(     "fhir://localhost:8080/\${header.resource}/\${header.parameter}")   )   .to("log:pt.ipv.estgv.mstio.rsb.fhir?level=DEBUG")   .processRef("FHIRtoHL7Processor")   .to("log:pt.ipv.estgv.mstio.rsb.hl7?level=DEBUG"); </pre>
FHIR	<pre> from("fhir://rsb?port=8080")   .routeId("route_fhirlistener")   .to("log:pt.ipv.estgv.mstio.rsb.fhir?level=DEBUG")   .beanRef("FHIRMessageHandler")   .to("log:pt.ipv.estgv.mstio.rsb.fhir?level=DEBUG"); </pre>

Para alguns dos passos do cenário foi construída uma mensagem de exemplo para o pedido e submetido ao RSB. Sempre que necessária, confirmou-se também a mensagem de resposta bem como as eventuais transformações intermédias.

### 5.4.1 1º exemplo - admissão

O assistente responsável pela admissão recebe o paciente e utiliza o RSB para obter o seu ficheiro clínico. Para simplificar a demonstração, assume-se

que foi utilizado um meio de identificação capaz de fornecer o identificador do paciente. Para este exemplo, assumiu-se o identificador 7000135.

---

**Mensagem 1** Mensagem enviada pelo sistema de admissão (HL7 v2)

---

```
MSH|^~\&|ADMISSION^SYSTEM^1|ADMISSION|RSB|CENTRAL|201501010000||ADT^A19|Q001|P
|2.3.1
QRD|201501010000|R|I|Q001|||1^RD|7000135|DEM
```

---

Esta mensagem em particular é uma operação QUERY cujo filtro é o identificador do paciente - **7000135**. O RSB recebe esta mensagem e utiliza o componente camel-fhir para traduzir a mensagem para FHIR. O resultado da tradução resulta numa mensagem com o seu corpo vazio e cujo destino é o *endpoint* <http://localhost:8080/Patient?identifier=urn:admission|7000135>. *Patient* é o recurso do FHIR para o directório de pacientes e a operação GET com o parâmetro *identifier* onde são enviados os elementos necessários, nomeadamente o identificador **7000135**, representa a mesma operação QUERY que a versão HL7 v2.

As rotas apresentadas na tabela 5.1 são responsáveis pelo encaminhamento e transformação da mensagem nos vários formatos. Após o envio da mensagem FHIR para o respectivo *endpoint*, é obtida a resposta, ainda sob a norma FHIR.

**Mensagem 2** Resposta à pesquisa de paciente (FHIR)

```

"entry": [
  {
    "id": "http://localhost:8080/Patient/1",
    "updated": "2001-05-06T09:18:50.046-05:00",
    "published": "2001-05-06T09:18:50.045-05:00",
    "content": {
      "resourceType": "Patient",
      "identifier": [
        {
          "system": "urn:admission",
          "value": "7000135"
        }
      ],
      "name": [
        {
          "family": [
            "Mineiro"
          ],
          "given": [
            "Luis"
          ]
        }
      ],
      "gender": {
        "coding": [
          {
            "system": "http://hl7.org/fhir/v3/AdministrativeGender",
            "code": "M"
          }
        ]
      },
      "birthDate": "1978-06-09",
      "address": [
        {
          "use": "home",
          "line": [
            "Torellstrasse 2"
          ],
          "city": "Berlin",
          "zip": "10243",
          "country": "D"
        }
      ]
    }
  }
]

```

O serviço de tradução converte esta mensagem FHIR para HL7 v2 para que possa ser devolvida ao sistema de admissão.

**Mensagem 3** Resposta à operação QUERY da Mensagem 1 (HL7 v2)

```

MSH|^~\&|RSB|CENTRAL|ADMISSION SYSTEM|ADMISSION|20150228195243.084+0100||ACK^A19
|13|P|2.3.1
MSA|AA|Q001
QRD|201501010000|R|I|Q001|||1^RD|7000135|DEM
PID|||7000135||Mineiro^Luis||19780609|M|||Torellstrasse 2^Berlin^10243^D||||M|

```

O sistema de admissão procedeu ao registo do episódio, novamente através da norma HL7 v2. A rota e conversões necessárias são bastante semelhantes aos exemplos anteriores pelo que dispensam demonstração. Importa apenas referir

que na resposta consta o número de identificação do episódio que, para o efeito desta demonstração, assume-se ter sido **201412345**.

#### 5.4.2 2º exemplo - pesquisas FHIR

Neste exemplo pretende-se demonstrar a utilização do FHIR, directamente a partir de outras aplicações via RSB. Nos passos do cenário de integração (5.3) foram descritas as situações em que a aplicação para *Smartphone* e a aplicação *Web* de suporte aos clínicos obtinham dados do sistema central. Estes dois cenários podem aceder directamente ao RSB através da norma FHIR visto o *endpoint* implementar uma arquitectura RESTful. O facto do protocolo de transporte ser HTTP também oferece toda a flexibilidade em termos de segurança e reencaminhamento, caso necessário.

A mensagem necessária para obter os detalhes do episódio deve ser uma operação GET, tendo como destino o recurso “Encounter” utilizando o parâmetro que permite identificar o episódio. O endereço completo para esta operação é <http://localhost:8080/Encounter?identifier=urn:admission|201412345>.

---

#### Mensagem 4 Pedido de detalhes do episódio (FHIR)

---

```
"entry": [
  {
    "id": "http://localhost:8080/Encounter/8679",
    "updated": "2014-10-06T03:18:50.046-05:00",
    "published": "2014-10-06T03:18:50.045-05:00",
    "content": {
      "resourceType": "Encounter",
      "identifier": [
        {
          "system": "urn:admission",
          "value": "201412345"
        }
      ],
      "subject": {
        "reference": "Patient/8677"
      }
    }
  }
]
```

---

Apenas os detalhes do episódio não permitem perceber quais os pedidos de diagnóstico. É possível, no entanto, obter o endereço de referência do episódio, disponível no atributo “id” que é “<http://localhost:8080/Encounter/8679>”. Para obter os pedidos de diagnóstico é necessário o envio de outra mensagem. Através de uma nova operação GET, desta feita, tendo como destino o recurso “DiagnosticOrder” e utilizando a referência do episódio como critério de pesquisa. É,

então, enviado o pedido `http://localhost:8080/DiagnosticOrder?encounter=8679` ao RSB.

---

### Mensagem 5 Detalhes do pedido de diagnóstico (FHIR)

---

```
"entry": [
  {
    "id": "http://localhost:8080/DiagnosticOrder/8680",
    "updated": "2014-10-06T03:22:26.443-05:00",
    "published": "2014-10-06T03:22:26.442-05:00",
    "content": {
      "resourceType": "DiagnosticOrder",
      "subject": {
        "reference": "Patient/8677"
      },
      "encounter": {
        "reference": "Encounter/8679"
      },
      "status": "requested",
      "priority": "urgent",
      "item": [
        {
          "code": {
            "coding": [
              {
                "system": "http://snomed.info/sct/900000000000207008",
                "code": "169072007"
              }
            ]
          },
          "status": "requested"
        }
      ]
    }
  }
]
```

---

Desta resposta deve sublinhar-se a importância do procedimento a ser efetuado. Na resposta, sob o atributo “item” existe o código do procedimento e a referência ao sistema responsável por manter essa ontologia. Como já havia sido referido, o SNOMED CT é a maior referência em termos de terminologia para a saúde. O código referido corresponde a uma tomografia computadorizada ao corpo inteiro (“Computed tomography scan - whole body”). Qualquer sistema consegue obter o significado semântico deste procedimento utilizando o SNOMED CT.

A aplicações clientes que receberem esta informação do RSB podem, facilmente, representar esse significado na linguagem adequada para que os utilizadores as compreendam.

O último exemplo de pesquisa utilizando FHIR não é tão linear como o anterior. À data da escrita deste documento a especificação não permitia a pesquisa de imagens através do identificador do pedido de diagnóstico, embora exista

uma referência para o mesmo no modelo de dados. Foi proposta uma alteração<sup>15</sup> que foi aceite pelo *Working Group* responsável e esta funcionalidade deverá estar disponível no futuro. Por enquanto, e para contornar esta limitação, utiliza-se uma prática, considerada comum, que é a atribuição do número do episódio ao atributo “Accession Number”<sup>1617</sup>.

Para efectuar a pesquisa envia-se uma nova mensagem. Uma vez mais, a operação para leitura é GET e, para este efeito, tem como destino o recurso “ImagingStudy”. O atributo para pesquisa chama-se “accession” e o valor construído para localizar as imagens é “urn:ris|201412345” em que “201412345” corresponde ao número do episódio. O pedido é enviado ao RSB através do endereço <http://localhost:8080/ImagingStudy/?accession=urn:ris|201412345>.

---

### Mensagem 6 Resultado da pesquisa de imagens (FHIR)

---

```
"entry": [
  {
    "id": "http://localhost:8080/ImagingStudy/8762",
    "updated": "2015-10-06T04:17:57.124+02:00",
    "published": "2015-10-06T04:17:57.123+02:00",
    "content": {
      "resourceType": "ImagingStudy",
      "accessionNo": {
        "system": "urn:ris",
        "value": "201412345"
      },
      "modality": [
        "CT"
      ],
      "availability": "ONLINE",
      "procedure": [
        {
          "system": "http://snomed.info/sct/900000000000207008",
          "code": "169072007",
          "display": "Computed tomography scan - whole body"
        }
      ],
      "series": [
        {
          "number": 3,
          "description": "CT Surview 180",
          "instance": [
            {
              "uid": "urn:oid:2.16.124.113543.6003.189642796.630",
              "sopclass": "urn:oid:1.2.840.10008.5.1.4.1.1.2",
              "url": "http://tinyurl.com/q9garm8"
            }
          ]
        }
      ]
    }
  }
]
```

---

A resposta recebida contém, entre outros, o URL para uma única imagem

<sup>15</sup>[http://gforge.hl7.org/gf/project/fhir/tracker/?action=TrackerItemEdit&tracker\\_item\\_id=5811](http://gforge.hl7.org/gf/project/fhir/tracker/?action=TrackerItemEdit&tracker_item_id=5811)

<sup>16</sup><http://www.otpedia.com/entryDetails.cfm?id=167>

<sup>17</sup><http://tinyurl.com/pub6el>

médica, podendo ser, no entanto, uma série de imagens.

## 5.5 Conclusões

A flexibilidade do FHIR é capaz de habilitar o RSB a responder a todos os níveis de interoperabilidade. O cenário de integração fictício demonstra-o. Mesmo o reduzido número de exemplos de conversão de mensagens são suficientes para demonstrar a aquisição de significado semântico e a interoperabilidade bidirecional entre sistemas cujas normas estão, ou não, dotadas de semântica.

O FHIR é, no entanto, uma especificação em evolução e que deverá tornar-se ainda mais completa. A versão actual da especificação conta já com um número bastante considerável de recursos, capazes de responder a praticamente todos os requisitos da área da Radiologia.

---

---

# CAPÍTULO 6

---

## CONCLUSÕES

Este projecto foi iniciado com um conjunto de objectivos ligeiramente diferentes daqueles com que foi concluído. Diversos factores contribuíram para alguns desvios no percurso inicialmente estabelecido. Se, por um lado, foram encontradas dificuldades nos resultados de alguma da investigação levada a cabo, por outro, esses resultados convidaram a prosseguir noutra direcção.

Foi o caso, por exemplo, das ontologias e semântica. Concluiu-se que existe muita investigação demasiado focada nos conceitos teóricos. Existem múltiplas normas disponíveis, mas sem haver um caminho claro de qual delas adoptar. Não se conseguiu identificar uma adopção na indústria que fosse considerada relevante.

As conclusões obtidas pela investigação sobre o tema do ditado digital não são determinantes e espera-se que haja ainda bastante evolução nessa área. O facto dos SRV não serem actualmente dominantes ficou claro e percebe-se que as taxas de erro, aliado aos custos elevados de instalação, sejam os maiores impedimentos de uma adopção em maior escala. Não obstante, no âmbito do objectivo maior do RSB, será sempre possível integrar qualquer um dos modelos utilizado para ditado digital.

O levantamento histórico dos padrões e modelos de arquitectura de integra-

ção revelaram que existe uma implementação que se pode considerar um standard de facto - o ESB. É quase impossível abordar o tema da integração sem haver uma referência a um ESB. Prova disso são também das várias dezenas de produtos existentes actualmente, *open-source* ou proprietários. Os alicerces dessas soluções são também arquiteturas e tecnologias testadas e comprovadas. Confirmou-se que as normas standard estavam presentes sempre que o tema integração surgia.

Relativamente aos casos concretos dos sistemas, vulgarmente, utilizados em *e-Health*, HIS, RIS e PACS, confirmou-se também que esta indústria se encontra afectada por um défice de inovação, promovido, principalmente, por razões políticas e económicas. Os utilizadores reconhecem as lacunas e acabam por aprender a lidar com elas e a contorná-las com processos, normalmente, manuais. Preva-lem as soluções proprietárias que têm tendência a transformar-se em soluções monolíticas que respondem a todos os requisitos de *e-Health*.

O objectivo principal deste projecto assumiu a forma de uma implementação de referência de um ESB orientado especificamente à área de Radiologia - o RSB. Herdou todas as características de um ESB *open-source* no qual se baseou e acrescentou o suporte a um standard ainda em desenvolvimento, o FHIR, para o dotar de interoperabilidade semântica na área da saúde. A API criada para demonstrar a prova de conceito, embora elementar, permite efectuar um conjunto de operações que evidenciam os critérios de interoperabilidade técnica, semântica e de processos.

## 6.1 Avaliação

A pequena prova de conceito construída com base no software open-source Apache ServiceMix demonstrou que a solução tem potencial para ser adaptado a diversas realidades na área de *e-Health*, não só a Radiologia. Como implementação de referência considera-se terem sido efectuados avanços numa área específica que, embora tenha sido alvo de alguma investigação e inovação, aparenta não resultar em produtos visíveis na indústria. Reconhece-se, no entanto, que muito trabalho fica por fazer, no RSB, sendo que a oportunidade de o submeter a uso numa organização com dimensão relevante poderia contribuir para refinar esta implementação.

As tecnologias adoptadas para a sua implementação deverão garantir que o RSB possa ser utilizado em ambientes críticos como é o da saúde. Muitas

das suas características, principalmente herdadas dos produtos *open-source* em que se baseou, garantem escalabilidade, tolerância a falhas e alta disponibilidade. A escolha do FHIR foi, efectivamente, experimentalista mas também o RSB o é. O modelo de desenvolvimento incremental e iterativo do standard encaixa perfeitamente no modelo de desenvolvimento do RSB. Também ele pode ser alvo de desenvolvimento incremental e iterativo em eventual trabalho futuro.

## 6.2 Trabalho futuro

O RSB pode ser complementado com algumas funcionalidades em falta, mais ou menos óbvias. Sendo a área de *e-Health* tão rica em normas e standards não é com surpresa que se prevê a necessidade de acrescentar suporte para mais formatos de dados e protocolos de transmissão. O serviço de tradução terá de ser, por isso, alterado para aceitar esses novos formatos e poder traduzi-los para FHIR. Este serviço assenta bastante em ontologias. As ontologias de tradução entre os formatos de entrada e o FHIR deverão ser construídas e publicadas num processo formal, de acordo com os requisitos de interoperabilidade semântica.

Todas estas medidas torná-lo-ão, certamente, um RSB capaz de contribuir para uma melhor prestação de cuidados de saúde aos cidadãos.



---

## BIBLIOGRAFIA

- Ahuja, S. P. (2011). Enterprise Service Bus: A Performance Evaluation. *Communications and Network*, 03(03), 133–140.
- Al-Aynati, M. M. & Chorneyko, K. A. (2003). Comparison of voice-automated transcription and human transcription in generating pathology reports. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 127(6), 721–725.
- Basma, S., Lord, B., Jacks, L. M., Rizk, M., & Scaranelo, A. M. (2011). Error Rates in Breast Imaging Reports: Comparison of Automatic Speech Recognition and Dictation Transcription. *American Journal of Roentgenology*, 197(4), 923–927.
- Beale, E. T. & Heard, S. (2007a). The openEHR Archetype System. *Management*, 1, 1–19.
- Beale, T. & Heard, S. O. I. (2007b). Archetype Definitions and Principles.
- Bender, D. & Sartipi, K. (2013). HL7 FHIR: An agile and RESTful approach to healthcare information exchange. In *Proceedings of CBMS 2013 - 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, (pp. 326–331).
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The Semantic Web.
- Boochever, S. (2004). HIS/RIS/PACS integration: getting to the gold standard. *Radiology Management*, 7(June).

- 
- Borst, W. N. (1997). *Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse*. Enschede: Centre for Telematics and Information Technology.
- Breest, M. (2006). An Introduction to the Enterprise Service Bus. In *Fundamentals of Service Engineering*.
- Brodie, M. (2003). The Long and Winding Road To Industrial Strength Semantic Web Services.
- CEN - European Committee for Standardization (2007). CEN/TC 251, EN 13606:2007 - Electronic Health Record Communication. <http://www.cen251.org>.
- Chappell, D. (2004). *Enterprise Service Bus*. O-Reilly Media, Inc.
- Chen, R., Garde, S., Beale, T., Nyström, M., Karlsson, D., Klein, G. O., & Ahlfeldt, H. (2008). An archetype-based testing framework. *Studies in health technology and informatics*, 136, 401–406.
- Choi, K.-S. (2007). IT Ontology and Semantic Technology. (pp. 14–15). IEEE.
- Cliffe, O. & Scotney, A. (2009). OWLSBuilder : Building Semantic Web Services With In-Language Annotations 1. 1, 1–5.
- Fensel, D. (2003). *Spinning the semantic Web bringing the World Wide Web to its full potential*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Fensel, D. & Bussler, C. (2002). The web service modeling framework WSMF. *Electronic Commerce Research and Applications*, 1, 113–137.
- FHIR (2014). FHIR Documentation. <http://www.hl7.org/implement/standards/FHIR-Develop/toc.html>.
- Fielding, R. T. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. PhD thesis.
- Fink, U., Nissen-Meyer, S., Weber, J., Gartner, C., & Lissner, J. (1991). Possibilities, Difficulties And Future Aspects Of Radiological Information Systems (RIS): A Clinical View. (pp. 324–326). IEEE.

- G2Speech (2012). i2Report: Mobile dictation with iPhone. Retrieved December 2012. <http://www.g2speech.com/solutions/mobile-dictation-with-iphone.html>.
- Gale, M. E. & Gale, D. R. (2000). DICOM modality worklist: an essential component in a PACS environment. *Journal of digital imaging : the official journal of the Society for Computer Applications in Radiology*, 13, 101–108.
- Garcés-Erice, L. (2009). Building an enterprise service bus for Real-time SOA: A messaging middleware stack. In *Proceedings - International Computer Software and Applications Conference*, volume 2, (pp. 79–84).
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2), 199–220.
- Hamad, H., Saad, M., & Abed, R. (2010). Performance evaluation of restful web services for mobile devices. *International Arab Journal of e-Technology*, 1, 72–78.
- Hayt, D. B. & Alexander, S. (2001). The pros and cons of implementing PACS and speech recognition systems. *Journal of digital imaging*, 14(3), 149–157.
- Herault, C., Thomas, G., & Lalanda, P. (2005). Mediation and Enterprise Service Bus: A position paper. In *Proceedings of the First International Workshop on Mediation in Semantic Web Services (MEDIATE)*.
- HL7 Interoperability Work Group (2007). Coming to Terms: Scoping Interoperability for Healthcare. <http://www.hln.com/assets/pdf/Coming-to-Terms-February-2007.pdf>.
- Hohpe, G. & Woolf, B. (2004). *Enterprise integration patterns: designing, building, and deploying messaging solutions*. The Addison-Wesley signature series. Boston: Addison-Wesley.
- Ibsen, C. & Anstey, J. (2010). *Camel in Action* (1st ed.). Greenwich, CT, USA: Manning Publications Co.
- Juang, B. & Rabiner, L. (2005). Automatic speech recognition - a brief history of the technology development.
- Kalra, D., Beale, T., & Heard, S. (2005). The openEHR Foundation. *Studies in health technology and informatics*, 115, 153–173.

- Kanal, K. M., Hangiandreou, N. J., Sykes, A. M., Eklund, H. E., Araoz, P. A., Leon, J. A., & Erickson, B. J. (2000). Evaluation of the accuracy of a continuous speech recognition software system in radiology. *Journal of digital imaging*, *13*(2 Suppl 1), 211–212.
- Kanal, K. M., Hangiandreou, N. J., Sykes, A. M., Eklund, H. E., Araoz, P. A., Leon, J. A., & Erickson, B. J. (2001). Initial evaluation of a continuous speech recognition program for radiology. *Journal of digital imaging*, *14*(1), 30–37.
- Keayes, R. G. & Grenier, L. (1997). Benefits of distributed HIS/RIS-PACS integration and a proposed architecture. *Journal of digital imaging : the official journal of the Society for Computer Applications in Radiology*, *10*, 89–94.
- Keen, M., Organization, I. B. M. C. I. T. S., & Ebrary, I. (2004). *Patterns: Implementing an SOA using an enterprise service bus*.
- Kotter, E. & Langer, M. (1998). Integrating HIS-RIS-PACS: the Freiburg experience. *European radiology*, *8*, 1707–1718.
- Langer, S. (2002). Radiology speech recognition: workflow, integration, and productivity issues. *Current problems in diagnostic radiology*, *31*(3), 95–104.
- Leape, L. L. (1994). Error in medicine. *JAMA: the journal of the American Medical Association*, *272*(23), 1851–1857.
- Lenz, R. & Kuhn, K. (2004). Towards a continuous evolution and adaptation of information systems in healthcare. *International Journal of Medical Informatics*, *73*(1), 75–89.
- Levine, B. A., Mun, S. K., Benson, H. R., & Horii, S. C. (2003). Assessment of the integration of a HIS/RIS with a PACS. *Journal of Digital Imaging*, *16*, 133–140.
- Liu, D., Zucherman, M., & Tulloss, W. B. J. (2006). Six characteristics of effective structured reporting and the inevitable integration with speech recognition. *Journal of digital imaging: the official journal of the Society for Computer Applications in Radiology*, *19*(1), 98–104.
- Mahmoud, K. M. (2013). A Unified Messaging-Based Architectural Pattern for Building Scalable Enterprise Service Bus. In *Proceedings of International Con-*

- 
- ference on Information Integration and Web-based Applications & Services - IIWAS '13*, (pp. 697–701)., New York, New York, USA. ACM Press.
- Mahmoud, Q. (2004). *Middleware for Communications*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Martin, D., Burstein, M., McDermott, D., McIlraith, S., Paolucci, M., Sycara, K., McGuinness, D. L., Sirin, E., & Srinivasan, N. (2007). Bringing semantics to web services with OWL-S. *World Wide Web*, *10*, 243–277.
- Martínez-Costa, C., Menárguez-Tortosa, M., & Fernández-Breis, J. T. (2010). An approach for the semantic interoperability of ISO EN 13606 and OpenEHR archetypes. *Journal of Biomedical Informatics*, *43*, 736–746.
- Mehta, A. & McLoud, T. C. (2003). Voice recognition. *Journal of thoracic imaging*, *18*(3), 178–182.
- Menge, F. (2007). Enterprise service bus. In *Free and Open Source Software Conference*, (pp. 1–6).
- Middleton, B., Halbert, J., & Coyle, F. P. (2012). Security Impacts on Semantic Technologies in the Coming Decade. In *Southern Methodist University*, (pp. 1–8).
- Mohr, D. N. (2002). Speech Recognition as a Transcription Aid: A Randomized Comparison With Standard Transcription. *Journal of the American Medical Informatics Association*, *10*(1), 85–93.
- NCH Software (2012). iPhone Pocket Dictate Voice Recorder - Dictation Software App. Retrieved December 2012. <http://www.nch.com.au/pocket/index.html>.
- Nodet, G. (2010). Thoughts about ServiceMix. <http://gnodet.blogspot.de/2010/12/thoughts-about-servicemix.html>.
- Noy, N. F. (2004). Semantic Integration: A Survey of Ontology-based Approaches. *SIGMOD Rec.*, *33*(December 2004), 65–70.
- OpenEHR (2002). Modelação em múltiplos níveis. [http://www.openehr.org/what\\_is\\_openehr](http://www.openehr.org/what_is_openehr).

- OpenEHR Foundation (2002). Origins of openEHR. <http://www.openehr.org/about/origins>.
- Pavlopoulos, S. & Delopoulos, A. (1999). Designing and implementing the transition to a fully digital hospital. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 3(1), 6–19.
- Polleres, A., Ruben, L., Lausen, H., Roman, D., Bruijn, J. D., & Fensel, D. (2005). A conceptual comparison between WSMO and OWL-S. Technical report.
- Pollock, J. (2002). Integration's Dirty Little Secret: It's a Matter of Semantics. *Whitepaper, Modulant: The Interoperability Company*, (February).
- Ramaswamy, M. R., Chaljub, G., Esch, O., Fanning, D. D., & VanSonnenberg, E. (2000). Continuous speech recognition in MR imaging reporting: advantages, disadvantages, and impact. *AJR. American journal of roentgenology*, 174(3), 617–622.
- Reason, J. T. (1990). *Human error*. Cambridge [England] ; New York: Cambridge University Press.
- Rodrigues, C., Afonso, J., & Tomé, P. (2011). Mobile Application Webservice Performance Analysis: Restful Services with JSON and XML. In M. M. Cruz-Cunha, J. a. Varajão, P. Powell, & R. Martinho (Eds.), *ENTERprise Information Systems*, volume 220 (pp. 162–169). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ryan, A. & Eklund, P. (2008). A framework for semantic interoperability in healthcare: a service oriented architecture based on health informatics standards. *Studies in health technology and informatics*, 136, 759–764.
- Ryan, A. & Eklund, P. (2009). Ontology mapping between HL7 versions 2 and 3 and OpenEHR for observations messages. In *HIC 2009: Proceedings; Frontiers of Health Informatics - Redefining Healthcare*, Canberra.
- Ryan, A. & Eklund, P. (2010). The health service bus: An architecture and case study in achieving interoperability in healthcare. In *Studies in Health Technology and Informatics*, volume 160, (pp. 922–926).
- Schmidt, M.-T., Hutchison, B., Lambros, P., & Phippen, R. (2005). The Enterprise Service Bus: Making service-oriented architecture real.

- Siddiqui, B. (2010a). Integrating healthcare services, Part 1: Using an Enterprise Service Bus for healthcare. <http://www.ibm.com/developerworks/java/library/j-hsb1/index.html>.
- Siddiqui, B. (2010b). Integrating healthcare services, Part 2: Using Apache ServiceMix as a Healthcare Service Bus. <http://www.ibm.com/developerworks/java/library/j-hsb2/index.html>.
- Sistrom, C. L. (2005). Conceptual Approach for the Design of Radiology Reporting Interfaces: The Talking Template. *Journal of Digital Imaging*, 18(3), 176–187.
- Tanenbaum, A. S. & Van Steen, M. (2007). *Distributed Systems: Principles and Paradigms*, 2/E.
- Taylor, P. (2006). *From patient data to medical knowledge: the principles and practice of health informatics* (1st ed.), volume 12. BMJ Books.
- Uschold, M. & Gruninger, M. (2004). Ontologies and semantics for seamless connectivity.
- Voll, K., Atkins, S., & Forster, B. (2007). Improving the Utility of Speech Recognition Through Error Detection. *Journal of Digital Imaging*, 21(4), 371–377.
- W3C (2002). Web Services Standards. <http://www.w3.org/2002/ws/#documents>.
- Web Services Interoperability Initiative (WS-I) (2004). Basic Profile Version 1.0. <http://www.ws-i.org/Profiles/BasicProfile-1.0.html>.
- White, K. S. (2005). Speech recognition implementation in radiology. *Pediatric Radiology*, 35(9), 841–846.
- Winscribe (2012). Digital Dictation Tour - Winscribe for iPhone. Retrieved December 2012. <http://www.winscribe.com/digital-dictation/product-tour/iphone-dictation-app>.
- Wong, S., Tjandra, D., Huili Wang, & Weimin Shen (2003). Workflow-enabled distributed component-based information architecture for digital medical imaging enterprises. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 7(3), 171–183.

Zafar, A., Overhage, J. M., & McDonald, C. J. (1999). Continuous speech recognition for clinicians. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 6(3), 195–204.