

## ARTIGO

# *Linha de produto de software para sistemas de informação em saúde*

## AUTORES

### *Artur Ziviani*

Doutorado em Ciência da Computação, Université Paris 6 – Sorbonne Universités. INCT em Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC). Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC/MCTI).

### *Antônio Tadeu Azevedo Gomes*

Doutorado em Ciência da Computação, PUC-Rio. INCT em Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC). Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC/MCTI).

### *Débora Christina Muchaluat Saade*

Doutorado em Ciência da Computação, PUC-Rio. INCT em Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC). Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense (UFF).

## INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A aplicação de tecnologias de informação e comunicação (TICs) na área de saúde tem sido vista como uma iniciativa promissora por alguns anos e vem progressivamente ganhando espaço recentemente<sup>1,2,3,4</sup>. Neste contexto, Cantrell<sup>5</sup> bem como Bansler e Havn<sup>6</sup> refletem a respeito dessa iniciativa promissora e sobre os desafios relacionados para alcançá-la, destacando que as suas vantagens potenciais incluem: (i) comunicação aprimorada entre os múltiplos provedores de serviços de saúde de um paciente individual<sup>7</sup>; (ii) eliminação de testes médicos desnecessários; (iii) redução em erros médicos, qualidade aprimorada de atendimento e segurança aprimorada do paciente; e (iv) redução na burocracia e legibilidade aprimorada.

Os últimos anos, entretanto, têm testemunhado um crescimento significativo no ceticismo sobre a eficácia de sistemas de informação em saúde (SISs) no suporte de serviços de saúde mais eficientes<sup>8,9,10</sup>. Há um entendimento geral de que os fatores inibidores para médicos e outros profissionais de saúde, clínicas e hospitais adotarem SISs se concentram em três grupos principais: organizacionais, ambientais e tecnológicos.<sup>8</sup> Em nosso trabalho, focamos nos fatores inibidores tecnológicos, que podem ser resumidos em (de forma alinhada com Raghupathi e Umar<sup>10</sup>): (i) custo elevado de desenvolvimento; (ii) falta de padronização aberta; (iii) orientação tecnológica; e (iv) manutenibilidade complexa.

Assim, neste documento, apresentamos de forma recapitulativa as atividades de P&D dos autores na área de SISs no contexto de sua atuação no Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC)<sup>11,12</sup>. O primeiro projeto do grupo foi o desenvolvimento de forma *ad hoc* de um sistema de apoio remoto à decisão para casos de infarto agudo do miocárdio (IAM)<sup>13</sup>. Com base na experiência adquirida nesse primeiro projeto, recentemente foi iniciada uma nova linha de trabalho mais abrangente com a proposta de um novo método dirigido por modelos para

SIS<sup>14,15,16</sup>. Com isso, este documento descreve a experiência anterior de sistema de apoio remoto para atendimento médico emergencial, as lições aprendidas e a nova linha de trabalho que encontra-se atualmente em andamento sobre uma linha de produto de *software* para SIS<sup>17</sup>.

## *MATERIAIS E MÉTODOS*

### *Experiência em Desenvolvimento Ad Hoc de SIS*

A primeira experiência do grupo foi no desenvolvimento *ad hoc* de SIS e teve a seguinte motivação para área específica: o infarto agudo do miocárdio (IAM) encontra-se entre as principais causas de óbito e incapacidade física mundialmente<sup>18</sup>. Em 2005, por exemplo, doenças cardiovasculares foram responsáveis por 30% de todos os óbitos globais<sup>19</sup>. Também é conhecido que a morbidade e a mortalidade de pacientes que sofreram IAM pode ser diminuída pela redução no intervalo de tempo entre a percepção dos primeiros sintomas e o tratamento<sup>20</sup>. Entretanto, em diversos países os chamados programas de Infarto do Miocárdio com Supra de ST (em inglês, *ST-Segment Elevation Myocardial Infarction - STEMI*) – que dependem de atendimento médico de emergência antecipado (tipicamente, pré-hospitalar) – ainda estão sendo estudados e revistos de maneira a serem implementados eficientemente<sup>21,22,23,24,25,26</sup>. Como resultado, pacientes de IAM continuam a experimentar intervalos de tempo mais prolongados até receberem assistência médica inicial<sup>27,28,29</sup>.

Entre as causas de IAM (que, em geral, são do tipo STEMI), a mais comum é a isquemia, que é a redução abrupta ou interrupção do fluxo sanguíneo para um tecido devido a uma constrição ou obstrução arterial. Até o momento, existem dois principais tratamentos em Cardiologia para a retomada do fluxo sanguíneo em uma artéria previamente constrita ou obstruída: trombólise e

angioplastia. A trombólise consiste na administração de fármacos capazes de dissolver a obstrução arterial de forma que o fluxo sanguíneo ao coração do paciente seja restabelecido efetivamente. A angioplastia, também chamada de intervenção coronariana percutânea primária (*Primary Percutaneous Coronary Intervention* - PPCI), é um procedimento altamente adotado, embora mais custoso, em casos de IAM isquêmico, que se baseia em uma intervenção cirúrgica para desbloqueio da artéria obstruída. Na literatura médica<sup>20,30,31,32</sup> há um longo e recorrente debate a respeito de qual terapia – trombólise ou angioplastia – seria o mais adequado em casos de IAM. De acordo com Dudek et al.<sup>32</sup>, PPCI é a forma mais prevalente de tratamento de pacientes com IAM. Contudo, há em geral um consenso de que<sup>34</sup>: (i) reduzir o intervalo de tempo entre o primeiro contato com o sistema de atendimento e o início da terapia adotada (o chamado atraso do sistema) é essencial<sup>29</sup>; (ii) a administração de trombólise pré-hospitalar é uma alternativa à angioplastia que pode produzir resultados semelhantes a um custo reduzido<sup>33</sup>; e (iii) se o paciente é elegível ao tratamento com trombólise, então a combinação da administração da trombólise ainda em ambiente pré-hospitalar com a angioplastia como uma intervenção secundária, após sua entrada no hospital, alcança resultados proeminentes<sup>19</sup>.

Alinhados com essa tendência, nós resumimos essa discussão nos referindo à conclusão de Danchin et al.<sup>20</sup> como resultado de sua revisão recentemente realizada a esse respeito: “*Although PPCI is the treatment of choice, it is often not possible to implement it within the required time window. [...] In areas where PPCI is not (immediately) available, thrombolysis remains the only treatment option and should be administered as soon as possible, preferably pre-hospital.*”

Essencialmente, a trombólise oferece o benefício de menor custo e de ser viável sua aplicação por emergencistas no cenário de primeiro atendimento da vítima de IAM. Entretanto a decisão de aplicação de trombólise requer uma avaliação criteriosa acerca da elegibilidade da vítima de IAM à trombólise. Tal avaliação tipicamente somente pode ser realizada por um especialista em

Cardiologia. Essa decisão especializada baseia-se na análise de um ECG além de informações sobre o histórico médico recente do paciente. Este é o ponto crucial no qual surge o problema sobre o qual o sistema de SIS desenvolvido se posiciona. É pouco usual que o especialista esteja disponível no local do primeiro atendimento à vítima de IAM; logo, isso faz com que as taxas de administração de trombólise em ambiente pré-hospitalar sejam abaixo das recomendadas. Estudos recentes<sup>35</sup> têm demonstrado a eficácia da adoção de soluções de telemedicina para casos de IAM neste contexto.

Dada esta motivação, nossa primeira experiência em SIS foi o desenvolvimento *ad hoc* de um sistema de teleconsulta para o suporte remoto em casos de IAM. Esse sistema permite a interação remota entre emergencistas, que fornecem o primeiro atendimento médico emergencial em ambiente pré-hospitalar a vítimas de IAM, e um cardiologista disponível em uma unidade coronariana. O sistema desenvolvido é chamado de AToMS<sup>13</sup>, um acrônimo para *AMI Teleconsultation & Monitoring System*. O AToMS utiliza-se de tecnologias ubíquas (sem fio e móveis) para possibilitar um serviço de telemedicina no local do primeiro atendimento à vítima de IAM, permitindo a emergencistas e cardiologistas: (i) trocar informações sobre um paciente vítima de IAM e decidir a respeito da elegibilidade do mesmo ao tratamento por trombólise dentro de uma janela adequada de tempo; e (ii) trocar informações complementares sobre a condição do paciente (incluindo ECGs complementares) enquanto este é deslocado a uma unidade coronariana.

O sistema AToMS visa a cobertura não somente em unidades convencionais de emergência, mas também virtualmente em *qualquer* lugar com cobertura de comunicação sem fio onde um paciente com IAM possa ser abordado por uma equipe móvel de emergência ou serviço de ambulância. Para alcançar esse objetivo, o sistema faz uso de diferentes tecnologias de interconexão para aumentar sua ubiquidade. A intervenção humana no AToMS é tipicamente restrita às solicitações de teleconsulta por parte dos emergencistas e as respostas a tais



teleconsultas por parte dos cardiologistas. Uma solicitação de teleconsulta é realizada enviando uma *solicitação de análise* acerca de um paciente com IAM que inclui um ou mais registros de ECG digitalizados e informações clínicas recém-coletadas pelos emergencistas sobre o paciente. O sistema então envia a solicitação de análise do paciente para um cardiologista, que pode então decidir adequadamente sobre a elegibilidade ou não do paciente para tratamento antecipado em ambiente pré-hospitalar através de trombólise.

A Figura 1 fornece uma visão geral do fluxo de comunicação do AToMS, estruturado de acordo com um estilo arquitetural cliente-servidor.

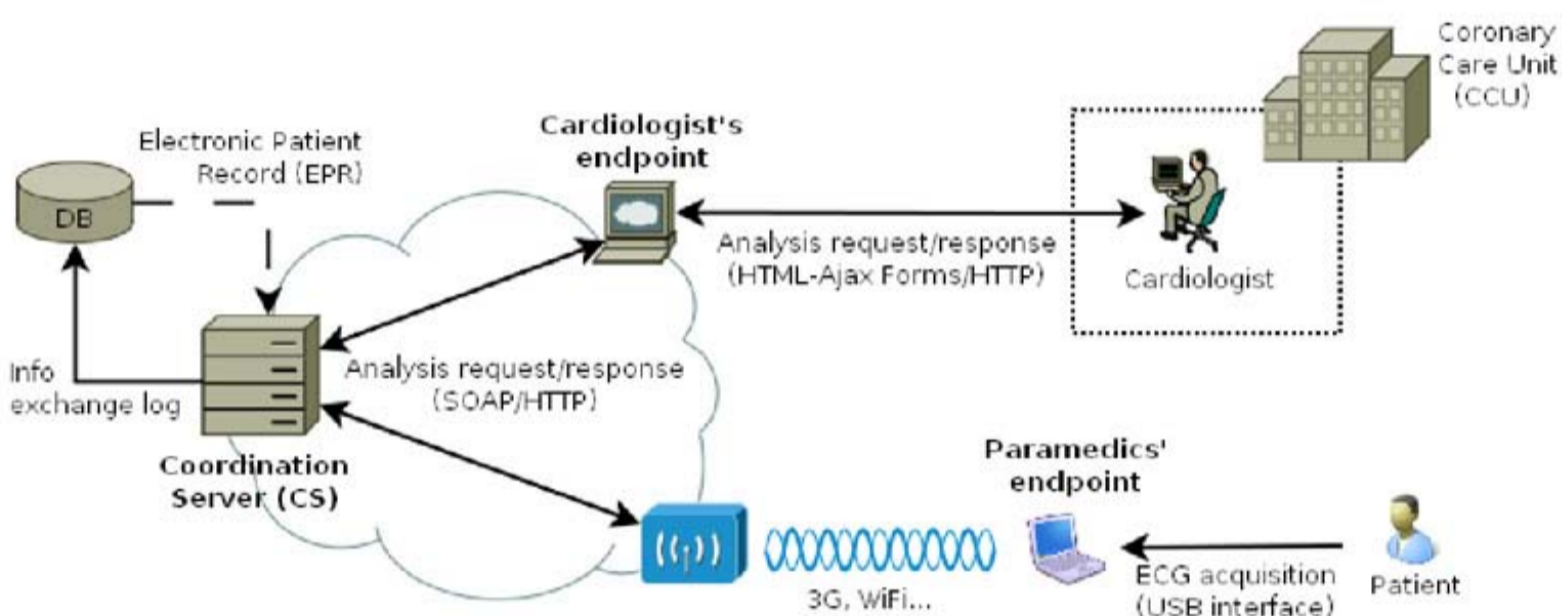


Figura 1: Visão geral do sistema AToMS<sup>3</sup>.

O Servidor de Coordenação (*Coordination Server* – CS) se ocupa da troca de informações entre emergencistas e cardiologistas. O CS recebe solicitações de análise enviadas pelos emergencistas usando uma interface cliente e as encaminha para o cardiologista conectado no sistema na outra interface cliente. Ao fazê-lo, o CS armazena toda a troca de informações em uma base de dados, permitindo auditoria posterior.

O lado cliente do sistema é composto de duas aplicações diferentes, que configuram os dois extremos do sistema. Uma aplicação é usada pelos emer-

gencistas de um lado e outra aplicação é usada por cardiologistas do outro lado. Os emergencistas usam uma aplicação que executa sobre um dispositivo móvel capaz de comunicação sem fio (p.ex. 3G ou Wi-Fi) conectado através de uma interface USB com um dispositivo de aquisição de ECG proprietário. Essa aplicação permite aos emergencistas:

- Preencher um registro eletrônico do paciente (REP)<sup>†</sup> com (i) a informação clínica do paciente (p.ex. ritmo cardíaco, informação sobre critérios de exclusão à trombólise etc); e (ii) um breve histórico médico do paciente recém-coletado por anamnese (p.ex. histórico de angioplastia, hipertensão, diabetes etc);
- Obter um registro ECG do paciente (com 12 derivações ou menos) codificado como um arquivo pelo dispositivo ECG a ser anexado ao REP;
- Transmitir todos esses dados através de uma conexão sem fio (p.ex. 3G), logo definindo o lançamento de uma solicitação de análise no sistema, possivelmente seguido por mensagens de *chat* a um cardiologista disponível.

O CS então encaminha a solicitação de análise e as mensagens de *chat* ao cardiologista disponível no sistema presente na unidade coronariana mais próxima (o sistema permite o envolvimento de mais de uma unidade coronariana). Note que ao menos um cardiologista precisa estar conectado ao AToMS por unidade coronariana, do contrário a teleconsulta não faz sentido. A interface do cardiologista é acessada através de uma aplicação *web* que executa sobre um navegador *web* padrão. A aplicação recebe da CS uma lista de solicitações de análise pendentes, o que permite ao cardiologista analisar e responder a múltiplas solicitações simultaneamente. Cada solicitação de análise é transmitida pelo CS ao cardiologista por HTTP assim que este se conecta ao sistema, e então é exibida como uma página HTML. Essa página contém:

- O REP e os *link(s)* para *download* dos registros ECG coletados pelos emer-

---

<sup>†</sup> Por REP não pretendemos um completo e permanente prontuário eletrônico do paciente (*electronic health record* – EHR), mas um registro local com informações clínicas do paciente para propósitos de telediagnóstico por um cardiologista.

gencistas para que o cardiologista analise;

- Um formulário *web* que molda o relatório médico que o cardiologista deve atribuir à solicitação. Isso inclui a indicação de se a trombólise deve ou não ser ministrada ao paciente assim como a gravidade da condição do paciente de acordo com a avaliação;

- Um canal de *chat* para permitir comunicação em tempo real entre os emergencistas e o cardiologista.

Todo relatório médico (isto é, o formulário *web* preenchido) atribuído pelo cardiologista é enviado ao CS, o qual por sua vez o repassa ao emergencista. Registros de ECG adicionais juntamente com o recurso do canal de *chat* permitem ao cardiologista obter do emergencista a condição corrente do paciente enquanto este está sendo deslocado à unidade coronariana. Isso fornece à equipe da unidade coronariana informações da situação do paciente ainda no cenário pré-hospitalar de forma que a equipe possa se preparar para o tratamento mais adequado subsequente para este paciente na unidade coronariana e aplicá-lo tão logo o paciente chegue.

Uma descrição detalhada do sistema AToMS pode ser encontrada em Correa et al.<sup>13</sup> enquanto uma visão cronológica da concepção e desenvolvimento intermediário do sistema AToMS pode ser encontrada em artigos mais curtos publicados nos últimos anos<sup>36,37,38,39</sup>. A provisão de qualidade de serviço (QoS) para um sistema de informação em saúde é fundamental para o funcionamento do sistema, quando há aplicações concorrentes na rede. Uma análise do uso de redes *mesh* com QoS como infraestrutura de comunicação para o sistema AToMS foi realizada e relatada em Silva et al<sup>40</sup>. Nesse experimento, foram realizados diversos testes práticos do sistema AToMS usando a rede *mesh* da Universidade Federal Fluminense (UFF) em Niterói-RJ, com e sem tráfego concorrente, para medir a vazão, a perda e o atraso de pacotes. Foram considerados dois conjuntos de cenários de uso do sistema AToMS: sem a configuração de



parâmetros de QoS, e com parâmetros de QoS, usando a ferramenta TC MESH (*Traffic Control For Mesh Networks*)<sup>41</sup>. Os testes foram realizados com o auxílio das ferramentas Wireshark e IPERF.

### *Experiência em Desenvolvimento Dirigido por Modelos de SIS*

Recentemente, tem havido considerável atenção sobre o potencial de Desenvolvimento Dirigido por Modelos (DDM)<sup>42,43</sup> no suporte ao desenvolvimento de SIS. De forma geral, as iniciativas existentes advogam o uso do padrão MDA (*Model-Driven Architecture*)<sup>1</sup>. Conforme descrito por Ragupathi e Umar<sup>10</sup>, a abordagem MDA viabiliza o desenvolvimento de SIS: (i) com baixo custo e *time-to-market*; (ii) interoperáveis; (iii) independentes de plataforma; e (iv) melhor manuteníveis<sup>44</sup>. Contudo, em nossa visão, há dois desafios principais a serem ainda tratados para que DDM alcance um nível maior de interoperabilidade, manutenibilidade e reuso no desenvolvimento de SIS:

- **Complexidade na modelagem dos dados clínicos.** Nossa experiência prévia no desenvolvimento de SIS<sup>13</sup> mostra que mudanças na modelagem de dados clínicos são constantes devido à complexidade de transcrever o conhecimento do profissional médico para dentro do sistema. Essa complexidade pode se traduzir em problemas de manutenibilidade e interoperabilidade a médio e longo prazo. Como consequência, a modelagem dos dados clínicos acaba exigindo atenção demasiada da equipe de desenvolvimento, sendo que constitui apenas uma parcela do esforço de desenvolvimento total de um SIS.

- **Modelagem arquitetural *ad-hoc*.** Técnicas de projeto arquitetural são especialmente úteis no domínio de SIS. Nesse sentido, a abordagem MDA é capaz de facilitar o reuso de uma boa arquitetura, mas não auxilia o projeto de novas boas arquiteturas. Tipicamente, sistemas dentro de uma mesma família de SIS

(p.ex. , emergência pré-hospitalar, vigilância epidemiológica, monitoramento intra-hospitalar de pacientes) empregam estilos arquiteturais semelhantes (p.ex. , cliente-servidor, *publisher-subscriber*, *peer-to-peer*). Defendemos que esses estilos devem poder ser melhor explorados pelas equipes de desenvolvimento visando projetos arquiteturais que propiciem manutenibilidade e reúso de longo prazo.

Esses dois desafios têm nos motivado a desenvolver um método de DDM para SIS mais abrangente que os baseados somente na abordagem MDA. Nosso método tem como objetivos:

- **Transversalizar modelos arquiteturais e de dados clínicos**, de modo que especialistas em saúde não se importem em como os dados são processados, armazenados e transportados, e que arquitetos de *software* não se importem em como os dados são representados em SIS;
- **Dualizar modelos de dados clínicos**, para separar a modelagem computacional da modelagem médica, o que permite reduzir o esforço da equipe de desenvolvimento na manutenção de SIS;
- **Estilizar modelos arquiteturais**, para capturar características comuns dentro de famílias de SIS como artefatos reusáveis de projeto.

Para dar suporte ao método proposto, temos desenvolvido recentemente um ferramental de *software* inovador, que é apresentado na Seção de Resultados. O estado atual de desenvolvimento do ferramental e as perspectivas futuras de aplicação desse ferramental são apresentados na Seção de Conclusão.

## RESULTADOS

O ferramental proposto que se encontra em desenvolvimento é apresentado na Figura 3. Todas as ferramentas ilustradas estão sendo prototipadas como *plugins* para o ambiente Eclipse<sup>45</sup> e são detalhadas adiante.

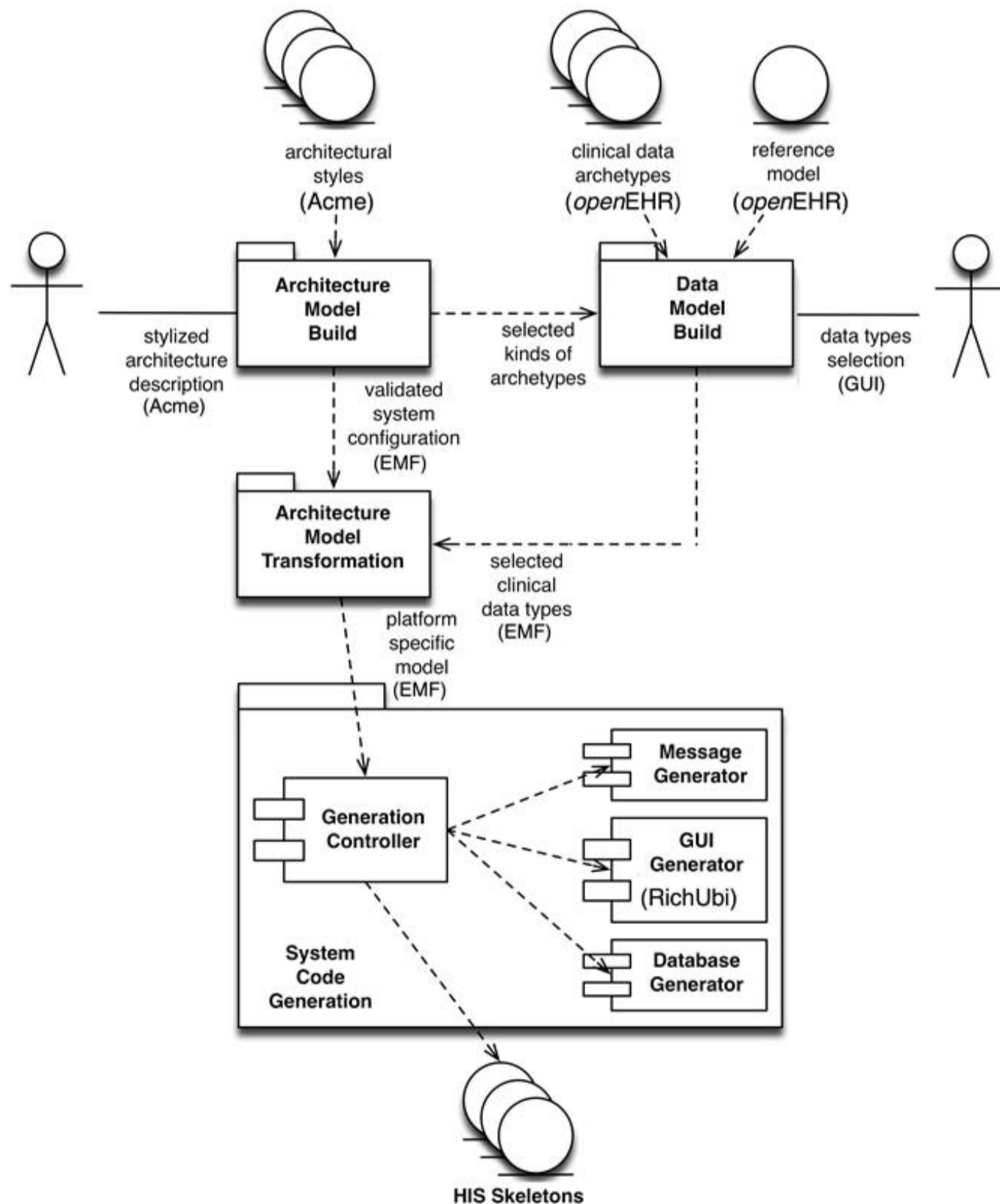


Figura 3: A linha de produto de software SPLiCE.<sup>16</sup>

## *Transversalização de Modelos*

Para transversalizar modelos arquiteturais e de dados clínicos, consideramos dois atores diferentes no método proposto: o *especialista de domínio* e o *arquiteto de software*. O primeiro especifica modelos de dados clínicos de SIS (vide Subseção “Modelagem de Dados Clínicos”) e o segundo modelos arquiteturais de SIS (vide Subseção “Modelagem Arquitetural”). Esses dois modelos são transformados, conforme descrito nas subseções seguintes, em formatos compatíveis com o metamodelo ECore do EMF<sup>46</sup> (*Eclipse Modeling Framework*) e passados à ferramenta *Architecture Model Transformation*. Essa ferramenta implementa um motor de composição e transformação de modelos baseado no EMF que gera um modelo de plataforma específica (*Platform Specific Model* — PSM) também baseado no EMF, a partir do qual esqueletos de SIS são gerados (vide Subseção “Geração de Código”).

## *Modelagem de Dados Clínicos*

Para dualizar modelos de dados clínicos, adotamos no método proposto o conjunto de especificações openEHR<sup>47</sup>. No openEHR, a tarefa da modelagem da informação é mantida separada daquela da modelagem de dados clínicos. Modeladores de informação definem um *modelo de referência*, sobre o qual comitês multidisciplinares de analistas de sistemas e médicos trabalham na modelagem dos dados clínicos e produzem os chamados *arquétipos de dados clínicos*, que são basicamente conjuntos de restrições que restringem os tipos de dados definidos no modelo de referência. Por exemplo, no openEHR “Pressão Sanguínea” é um arquétipo com tipos de dados como “Sistólica” e “Diastólica”, que definem restrições sobre os valores aceitos pelo tipo de dados mais geral “Quantidade”, no modelo de referência.

No ferramental de *software* proposto, ambos o modelo de referência e os arquétipos de dados clínicos das especificações openEHR servem como entrada para a ferramenta *Data Model Build*. Essa ferramenta também recebe da ferramenta *Architecture Model Build* (vide Subseção “Modelagem Arquitetural”) uma indicação sobre quais tipos de arquétipos de dados clínicos são de interesse – observação, instrução, avaliação ou ação – para a família específica de SIS da qual o sistema a ser gerado faz parte. A partir dessas entradas, a ferramenta *Data Model Build* gera um modelo completo de dados clínicos. Esse modelo é repassado para a ferramenta *Data Model Transformation*, que: (i) permite que o especialista selecione os tipos de dados no modelo de dados clínicos completo que são de interesse para o SIS específico a ser gerado – por exemplo, o tipo de dado “Muscle Tone” é crucial para obstetras (devido ao método Apgar), mas não faz sentido para serviços de emergência para pacientes de infarto do miocárdio; e (ii) traduz os tipos de dados selecionados em um formato compatível com o EMF.

### *Modelagem Arquitetural*

Para estilizar modelos arquiteturais, adotamos no método proposto a linguagem de descrição arquitetural Acme<sup>48</sup>. Acme é uma notação construída para o propósito específico do intercâmbio de modelagem arquitetural. Acme oferece construções de alto nível – como componentes, conectores e configurações – que incorporam informações sobre a estrutura de um sistema ao mesmo tempo que permitem abstrair detalhes da implementação do mesmo. Acme também provê suporte para *estilos arquiteturais*<sup>49</sup>, os quais prescrevem tipos de construções e restrições na composição dos mesmos. Por exemplo, um estilo “Pipeline” pode incluir um tipo de componente “Filter” e um tipo de conector “Pipe” além de restrições que impedem composições circulares de tais construções em uma configuração de sistema. Uma configuração seguin-



do um estilo específico em Acme pode assim ser vista como uma instância de tal estilo.

No ferramental de *software* proposto, estilos arquiteturais descritos em Acme servem como entrada para a ferramenta *Architecture Model Build*. Tais estilos definem regras para a configuração dos sistemas pertencentes a diferentes famílias de SIS – até o momento temos nos dedicado à definição de estilos Acme para sistemas de emergência pré-hospitalar e vigilância sindrômica. A ferramenta *Architecture Model Build*: (i) valida uma configuração de sistema especificada por um arquiteto de *software* de acordo com as regras de estilo da família SIS pretendida; (ii) indica à ferramenta *Data Model Build* os tipos de arquétipos de dados clínicos de interesse para essa família – por exemplo, sistemas de emergência manipulam em sua maioria dados de observação e instrução, enquanto que sistemas de vigilância estão normalmente interessados em dados de observação e avaliação; e (iii) traduz a configuração validada de sistema em um formato compatível com o EMF.

### *Geração de Código*

A ferramenta *System Code Generation* implementa um motor de transformação baseado no EMF que gera esqueletos de código para SIS a partir de um PSM exportado pela ferramenta *Architecture Model Transformation*. A ferramenta *System Code Generation* é composta por quatro componentes. O componente *Generation Controller* analisa o PSM e invoca um dos três componentes geradores específicos dependendo da parte do PSM que está sendo analisada: (i) o componente *Message Generator* para a geração de entidades de protocolo e formatos de mensagens (p.ex. definições WSDL<sup>50</sup>, stanzas XMPP<sup>51</sup>); (ii) o componente *GUI Generator*, que é baseado no RichUbi<sup>52</sup>, uma ferramenta também baseada no EMF para geração de código para interfaces gráficas de usuário; e (iii) o componente *Database Generator* para a geração de código específico de banco de dados (p.ex. , esquemas, mapeamentos objeto/relacional).

## Discussão

Embora um grande número de sistemas de informação em saúde (SISs) já tenham sido desenvolvidos, pode-se observar que tipicamente estes não são sistematicamente derivados de uma representação concreta de uma arquitetura de referência, tal como um arcabouço de aplicação ou um conjunto de componentes de *software* específicos de domínio. Essa abordagem é, entretanto, primordial, para que tais sistemas estejam aptos a responder a mudanças de requisitos.

Neste contexto, alguns esforços de desenvolvimento têm surgido, sobretudo oriundos da academia. O projeto ALPHA<sup>53</sup> é uma iniciativa canadense com o propósito de desenvolver uma arquitetura de *software* baseada na filosofia de configuração e reuso de componentes comuns para produzir serviços que seriam usados para permitir um desenvolvimento mais rápido de SISs robustos e manuteníveis. O objetivo é reduzir o volume de trabalho de novo desenvolvimento para cada nova aplicação, de forma a reduzir o seu *time-to-market*. De forma semelhante, EpiCollect<sup>54</sup> provê um arcabouço que facilita o desenvolvimento de aplicações, tais como sistemas de vigilância em saúde, que requeiram coleta de dados a partir de dispositivos móveis e análise posterior de tais dados em um repositório central. Nesses projetos, novos componentes ou serviços que devam ser construídos são projetados de tal maneira que outras aplicações possam usá-los, e assim contribuam para a arquitetura. Como consequência, o *software* se torna mais manutenível, pois diferentes aplicações compartilham muitos de seus componentes.

Recentemente, considerável atenção tem sido voltada para o potencial de DDM em geral, e o padrão MDA<sup>55</sup> em particular, para a superação dos fatores inibidores ao desenvolvimento de SISs manuteníveis. Artigos exploratórios<sup>10,56</sup> estabeleceram a base inicial em termos do potencial que o DDM poderia oferecer, como previamente mencionado, para a engenharia sistemática de SISs. No

entanto, apesar do aumento na adoção de abordagens centradas em modelos na área de saúde, esses artigos são também críticos a respeito das dificuldades em alcançar uma linha racional para as decisões gerais de projeto. De acordo com análise desses trabalhos, tipicamente um esforço não-trivial é requerido para ajustes localizados.

Lopez e Blobel<sup>57</sup> discutem diversas metodologias de engenharia de *software* (p.ex. , RUP), linguagens de modelagem (p.ex. , UML), arcabouços arquiteturais (p.ex. MDA, RM-ODP) e padrões de dados em saúde (p.ex. , HL7, openEHR) no intuito de alcançar uma configuração viável para permitir uma interoperabilidade semântica na área de saúde. A principal hipótese por trás dessa iniciativa é a necessidade de integrar metodologias e padrões de engenharia de *software* em geral àqueles oriundos da área de informática em saúde em particular. Nesse sentido, vale ressaltar a dificuldade existente em integrar e evoluir artefatos proprietários, tais como RUP e HL7. Em um caminho distinto, Janamanchi et al.<sup>58</sup> discutem o potencial de disseminação de artefatos abertos, tais como o EMF<sup>46</sup> e as especificações openEHR. Os autores concluem que existe uma comunidade de software livre ativa e florescente que está focada em informática em saúde.

Com base nessa breve revisão da literatura recente, nós enfatizamos que a aplicação de DDM na área de informática em saúde está em progresso, mas as iniciativas existentes estão em geral ainda restritas à abordagem MDA padrão.

A abordagem MDA depende do uso de regras de transformação (semi) automáticas para traduzir um modelo independente de plataforma (*Platform Independent Model* – PIM) em diferentes modelos de plataforma específica (*Platform Specific Model* – PSM) e então gerar código para o último. Isso permite que se gerencie mudanças funcionais diretamente no PIM para então gerar PSMs e código, ao invés de (na pior das hipóteses) lidar com mudanças como acertos no código. Isso significa uma melhor gerência do chamado *roundtrip problem*<sup>1</sup>, ou seja, lidar com múltiplos artefatos que representam diferentes níveis de

abstração no ciclo de vida de desenvolvimento de tal forma a evitar redundância e inconsistência. Essa característica constitui um importante passo para reduzir o alto custo de desenvolvimento de SIS.

A abordagem MDA por si só pode ser um recurso valioso para o desenvolvimento de SIS com a separação entre processos de saúde e tecnologia. No entanto, isso deve ser incrementado a fim de se melhorar a reutilização em termos da modelagem independente de aplicação. No caso da área de saúde, particularmente, modelar dados clínicos bem como arquiteturas de *software* caso a caso, de forma *ad hoc*, pode ser contraprodutivo.

Por um lado, nossa experiência com o desenvolvimento do sistema AToMS<sup>13</sup> indica que a modelagem de dados clínicos requer atenção demasiada da equipe de desenvolvimento. De fato, não é novidade para a comunidade de informática em saúde que a modelagem de dados clínicos se torna uma tarefa árdua tanto para profissionais da área de saúde quanto para os de computação, se ambos não estão comprometidos a trabalhar em conjunto<sup>60</sup>.

Por outro lado, a modelagem arquitetural almejada de um SIS — por exemplo, para prover usuários com fácil interação com sistemas clínicos permanentemente disponíveis — está longe de ser uma tarefa trivial. Portanto, sejam dirigidos por modelos ou não, para esses sistemas serem “a prova de futuro”<sup>61</sup>, um projeto arquitetural cuidadoso é importante, se não indispensável. Nesse caso, a MDA é capaz de facilitar o reúso de uma boa arquitetura, mas ainda não pode sistematicamente ajudar alguém a obter novas boas arquiteturas. Entretanto, pode-se vislumbrar no domínio de SISs padrões de comunicação e controle que sejam adequados a famílias específicas de sistemas. Por exemplo, os requisitos de (quase) tempo real em sistemas de vigilância sindrômica ou de atendimento médico emergencial não necessariamente importam em sistemas de vigilância epidemiológica. Nesse último, entretanto, a robustez e confiabilidade da informação disponível é de vital importância. Em consonância com essa linha de raciocínio, os princípios estabelecidos de arquitetura

de *software* em geral, e de estilos arquiteturais<sup>49</sup> em particular, produzem uma clara sinergia dentro da filosofia de DDM.

## CONCLUSÃO

Neste documento, discorreremos a respeito de um método que aplica DDM para entrelaçar modelos de dados clínicos e modelos arquiteturais de forma a gerar SIS manuteníveis. Nós também apresentamos nosso trabalho em andamento no desenvolvimento de uma linha de produto de *software*, chamada SPLiCE, que suporta tal método. De maneira geral, nós acreditamos que são promissoras as perspectivas para DDM representar um papel chave no futuro próximo da área de SIS. Até o momento, nós lidamos com o ferramental da linha de produto de *software* em condições experimentais usando EJB<sup>62</sup>, AJAX<sup>63</sup>, Webservices<sup>64</sup> e Hibernate<sup>65</sup> como nossa plataforma alvo.

Dentro do projeto atualmente em andamento, nós também temos elencado as similaridades e diferenças entre SIS de duas famílias principais: emergência pré-hospitalar e vigilância epidemiológica. Para sistemas de vigilância, por exemplo, um ponto comum consiste em que eles precisam permitir que alertas relacionados à saúde e as respostas correspondentes aconteçam de uma maneira altamente distribuída, de forma a assegurar que tomadores de decisão cumpram adequadamente os programas e políticas do atendimento de saúde. Esse ponto comum leva à transmissão informal de idiomas arquiteturais entre os sistemas. No entanto, o desenvolvimento tecnológico fenomenal em computação móvel e redes na última década tornou-se um ponto essencial para a produção de uma nova família de SIS, a qual nós coletivamente chamamos de SIS ubíquos. Para sistemas de vigilância, em particular, tais tecnologias de comunicação sem fio são fundamentais para a provisão dos alertas e respostas no devido tempo. Essa escala temporal, entretanto, basicamente depende do



cenário específico de aplicação das práticas de vigilância pretendidas. Cada cenário pode divergir em uma ou mais das seguintes características<sup>66</sup>: (i) o método de detecção usado (ativo vs. passivo); (ii) a velocidade através da qual os dados precisam fluir através do sistema (imediato vs. rotina); (iii) a rapidez de resposta requerida (investigação imediata de casos ou agrupamentos de casos vs. análise de dados de maneira regular com subsequentes ajustes na política de controle). Como um exemplo, para um sistema de vigilância fornecer alertas antecipados, os passos envolvidos de relato, confirmação, tomada de decisão e resposta devem ser realizados rapidamente. Por outro lado, para doenças endêmicas, o alvo pode ser a consideração cuidadosa de dados coletados em vastas áreas de maneira a ajustar ou direcionar a política de controle dos serviços de saúde pública. Isso leva a diferenças nos requisitos não-funcionais específicos que precisam ser tratados de acordo com cada SIS dessa família.

Como trabalho futuro, nós pretendemos validar a metodologia proposta e a linha de produto de *software* SPLiCE pela modelagem de SIS legados reais (p.ex. AToMS<sup>13</sup>) e compará-los aos esqueletos de SIS gerados pela proposta.

## REFERÊNCIAS

1. Haux R. Medical informatics: past, present, future. *International Journal of Medical Informatics*. 2010;79(9):599–610.
2. Kyriacou E, Pattichis MS, Pattichis CS, Panayides A, Pitsillides A. m-Health and e-Emergency Systems: Current Status and Future Directions. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. 2007;49(1):216–31.
3. Hung K, Zhang Y-T. Wireless Internet in Telemedicine. In: *Wireless Internet handbook*. CRC Press;2003. p. 511–35.
4. Estrin D, Sim I. Open mHealth Architecture: An Engine for Health Care Innovation. *Science*. 2010;330(5):759–60.
5. Cantrill SV. Computers in patient care: the promise and the challenge. *Communications of the ACM*. 2010;53(9):42–7.
6. Bansler JP, Havn E. Pilot implementation of health information systems: issues and challenges. *International journal of medical informatics*. 2010 Sep;79(9):637–48.
7. López DM, Blobel B. Enhanced semantic interoperability by profiling health informatics standards. *Methods of information in medicine*. 2009 Jan;48(2):170–7.
8. Vest JR. More than just a question of technology: factors related to hospitals' adoption and implementation of health information exchange. *International journal of medical informatics*. 2010 Dec;79(12):797–806.

9. Ekeland AG, Bowes A, Flottorp S. Effectiveness of telemedicine: a systematic review of reviews. *International journal of medical informatics*. 2010 Nov;79(11):736-71.
10. Raghupathi W, Umar A. Exploring a model-driven architecture (MDA) approach to health care information systems development. *International journal of medical informatics*. 2008 May;77(5):305-14.
11. <http://macc.lncc.br> (acessado em 13 de abril de 2012).
12. Feijóo RA, Ziviani A, Blanco PJ, Oliveira JC de, Vasconcelos AT, Nicolás M, et al. CT&I na Área de Saúde no Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC. In: *Pesquisas e Ações em Saúde nos Institutos de Pesquisa do Ministério da Ciência e Tecnologia*. MCT;2010. p. 210-31.
13. Correa BSPM, Gonçalves BN, Teixeira IM, Gomes ATA, Ziviani A. AToMS: A Ubiquitous Teleconsultation System for Supporting AMI Patients with Pre-Hospital Thrombolysis. *International Journal of Telemedicine and Applications (IJTA)*. 2011.
14. Gomes ATA, Ziviani A, Santos VUP, Moreira V, Correa B de SPM, Teixeira IM. Desenvolvimento Dirigido por Modelos para Aplicações em Saúde. In: *Anais do Workshop de Informática em saúde (WIM)*. 2011.
15. Job DH, Gomes ATA, Ziviani A. Health Systems for Syndromic and Epidemiological Surveillance. In: *Telemedicine and E-Health Services, Policies and Applications: Advancements and Developments*. IGI Global;2012. p. 245-62.

16. Gomes ATA, Ziviani A, Correa BSPM, Teixeira IM, Moreira VM. SPLiCE: A Software Product Line for Healthcare. In: Proceedings of the 2nd ACM SIGHT symposium on International health informatics - IHI'12. New York, New York, USA: ACM Press;2012.
17. Sugumaran V, Park S, Kang KC. Software Product Line Engineering. Communications of the ACM. 2006 Dec;49(12):28.
18. Canto JG. Use of Emergency Medical Services in Acute Myocardial Infarction and Subsequent Quality of Care: Observations From the National Registry of Myocardial Infarction. Circulation. 2002 Nov;106(24):3018–23.
19. Smith AM, Hardy PJ, Sandler DA, Cooke J. Paramedic decision making: prehospital thrombolysis and beyond. Emergency medicine journal : EMJ. 2011 Aug;28(8):700–2.
20. Danchin N, Durand E, Blanchard D. Pre-hospital thrombolysis in perspective. European heart journal. 2008 Dec;29(23):2835–42.
21. Keeley EC, Boura JA, Grines CL. Primary angioplasty versus intravenous thrombolytic therapy for acute myocardial infarction: a quantitative review of 23 randomised trials. Lancet. 2003 Jan;361(9351):13–20.
22. Danchin N, Blanchard D, Steg PG, Sauval P, Hanania G, Goldstein P, et al. Impact of prehospital thrombolysis for acute myocardial infarction on 1-year outcome: results from the French Nationwide USIC 2000 Registry. Circulation. 2004 Oct 5;110(14):1909–15.
23. McLean S, Wild S, Connor P, Flapan AD. Treating ST elevation myocar-

dial infarction by primary percutaneous coronary intervention, in-hospital thrombolysis and prehospital thrombolysis. An observational study of time-lines and outcomes in 625 patients. *Emergency medicine journal : EMJ*. 2011 Mar;28(3):230-6.

24. Patel AB, Tu JV, Waters NM, Ko DT, Eisenberg MJ, Huynh T, et al. Access to primary percutaneous coronary intervention for ST-segment elevation myocardial infarction in Canada: A geographic analysis. *Open Medicine*. 2010;4(1):E13-21.

25. Arntz H-R. Prehospital Thrombolysis in Acute Myocardial Infarction. *Thrombosis Research*. 2001 Sep;103(Suppl 1):S91-6.

26. Garvey JL, MacLeod BA, Sopko G, Hand MM. Pre-hospital 12-lead electrocardiography programs: a call for implementation by emergency medical services systems providing advanced life support. *Journal of the American College of Cardiology*. 2006 Feb;47(3):485-91.

27. McGinn AP, Rosamond WD, Goff DC, Taylor HA, Miles JS, Chambless L. Trends in prehospital delay time and use of emergency medical services for acute myocardial infarction: experience in 4 US communities from 1987-2000. *American heart journal*. 2005 Oct;150(3):392-400.

28. Luepker RV. Delay in acute myocardial infarction: why don't they come to the hospital more quickly and what can we do to reduce delay? *American heart journal*. 2005 Sep;150(3):368-70.

29. Terkelsen CJ, Sørensen JT, Maeng M, Jensen LO, Tilsted H-H, Trautner S, et al. System delay and mortality among patients with STEMI treated with



primary percutaneous coronary intervention. *JAMA : the journal of the American Medical Association*. 2010 Aug;304(7):763–71.

30. Stone GW. Primary angioplasty versus “earlier” thrombolysis--time for a wake-up call. *Lancet*. 2002 Sep;360(9336):814–6.

31. Widimský P. Long distance transport for primary angioplasty vs immediate thrombolysis in acute myocardial infarction Final results of the randomized national multicentre trial—PRAGUE-2. *European Heart Journal*. 2003 Jan;24(1):94–104.

32. Dudek D, Rakowski T, Dziewierz A, Mielecki W. Time delay in primary angioplasty: how relevant is it? *Heart (British Cardiac Society)*. 2007 Oct;93(10):1164–6.

33. Ratcliffe AT, Pepper C. Thrombolysis or primary angioplasty? Reperfusion therapy for myocardial infarction in the UK. *Postgraduate medical journal*. 2008 Feb;84(988):73–7.

34. Wainstein R, Furtado MV, Polanczyk CA. Prehospital Thrombolysis in AMI: A feasible alternative to Brazil? *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 2008;90(2):71–3.

35. de Waure C, Cadeddu C, Gualano MR, Ricciardi W. Telemedicine for the Reduction of Myocardial Infarction Mortality: A Systematic Review and a Meta-Analysis of Published Studies. *Telemedicine and e-Health*. 2012 Apr;18(5):1–6.

36. Correa SL, Gomes ATA, Ziviani A. Desenvolvimento Orientado a Aspectos para um Sistema de Telemedicina. In: *Anais do Workshop de Informática em saúde (WIM)*. 2006.

37. Gomes ATA, Ziviani A, Souza e Silva NA de, Feijóo RA. Towards a Ubiquitous Healthcare System for Acute Myocardial Infarction Patients in Brazil. In: Proc. of the IEEE International Workshop on Pervasive and Ubiquitous Health Care - UbiCare'06, IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications and Workshops - PerCom 2006. 2006.
38. Gomes ATA, Ziviani A, Bastos BF, Viçoso RP, Souza e Silva NA de, Correa Filho WB. Suporte Remoto ao Atendimento Médico Emergencial com Uso de Eletrocardiografia Digital via Dispositivos Móveis. In: Anais do Congresso Brasileiro de Telemedicina e Telessaúde (CBTMS). 2007.
39. Teixeira IM, Viçoso RP, Correa BSPM, Gomes ATA, Ziviani A. Suporte Remoto ao Atendimento Médico Emergencial via Dispositivos Móveis. In: Anais do Workshop de Informática em saúde (WIM). 2009.
- 40 Silva B, Gomes ATA, Ziviani A, Muchualuat-Saade DC. Provisão de QoS para um Sistema de Teleatendimento Médico Emergencial em Redes em Malha sem Fio. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB). 2010.
41. Wanderley BL, Justen AFA, Muchualuat-Saade DC. TC MESH: Uma Ferramenta de Gerência de QoS para Redes em Malha sem Fio. In: 8th International Information and Telecommunications Symposium (I2TS), 2009.
42. Jones V, Rensink A, Brinksma E. Modelling mobile health systems: an application of augmented MDA for the extended healthcare enterprise. Ninth IEEE International EDOC Enterprise Computing Conference EDOC'05. 2005.

43. Walderhaug S, Stav E, Mikalsen M. Experiences from model-driven development of homecare services: UML profiles and domain models. *Models in Software Engineering*. 2009:199–212.
44. Jarzabek S. *Effective Software Maintenance and Evolution: A Reuse-Based Approach*. Auerbach Publications;2007.
45. <http://www.eclipse.org> (acessado em 05 de abril de 2012).
46. <http://www.eclipse.org/modeling/emf/> (acessado em 05 de abril de 2012).
47. Heard S, Beale T. *OpenEHR Architecture Overview*. 2007.
48. Garlan D, Monroe RT, Wile D. ACME: An Architecture Description Interchange Language. In: *Proc. of the CASCON'97*. Toronto, Ontario: 1997. p. 169–83.
49. Garlan D, Allen R, Ockerbloom J. Exploiting style in architectural design environments. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*. 1994 Dec;19(5):175–88.
50. <http://www.w3.org/TR/wsdl> (acessado em 19 de abril de 2012).
51. <http://xmpp.org> (acessado em 19 de abril de 2012).
52. Cirilo CE, do Prado AF, de Souza WL, Zaina LAM. Model driven RichUbi. In: *Proceedings of the 28th ACM International Conference on Design of Communication – SIGDOC'10*. New York, New York, USA: ACM Press;2010. p. 207.

53. Turner C, Bishay H, Peng B, Merifield A. The ALPHA Project: an architecture for leveraging public health applications. *International journal of medical informatics*. 2006;75(10-11):741-54.
54. Aanensen DM, Huntley DM, Feil EJ, Al-Own F, Spratt BG. EpiCollect: linking smartphones to web applications for epidemiology, ecology and community data collection. *PloS one*. 2009 Jan;4(9):e6968.
55. Miller J, Mukerji J. MDA Guide Version 1.0.1. 2003.
56. Tuomainen M, Mykkänen J, Luostarinen H, Pöyhölä A, Paakkanen E. Model-centric approaches for the development of health information systems. *Studies In Health Technology And Informatics*. 2007;129(Pt 1):28-32.
57. Lopez DM, Blobel BGME. A development framework for semantically interoperable health information systems. *International journal of medical informatics*. 2009 Feb;78(2):83-103.
58. Janamanchi B, Katsamakos E, Raghupathi W, Gao W. The state and profile of open source software projects in health and medical informatics. *International journal of medical informatics*. 2009 Jul;78(7):457-72.
59. Hailpern B, Tarr P. Model-driven development: The good, the bad, and the ugly. *IBM Systems Journal*. 2006;45(3):451-61.
60. Schulz S, Suntisrivaraporn B, Baader F, Boeker M. SNOMED reaching its adolescence: ontologists' and logicians' health check. *International journal of medical informatics*. 2009 Apr;78 Suppl 1 (Supplement 1):S86-94.
61. Beale T. Archetypes: Constraint-based domain models for future-proof information systems. 2002.

62. <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/ejb> (acessado em 19 de abril de 2012).

63. <http://www.asp.net/ajax> (acessado em 19 de abril de 2012).

64. <http://www.w3.org/2002/ws> (acessado em 19 de abril de 2012).

65. <http://www.hibernate.org> (acessado em 19 de abril de 2012).

66. World Health Organization. Recommended Surveillance Standards. 1999.