

# Um Modelo para Composição de Métricas de Desempenho de Redes

Raphael A. Dourado<sup>1</sup>, Leobino N. Sampaio<sup>2</sup>, José A. S. Monteiro<sup>1</sup>, Paulo R. F. Cunha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Pesquisa em Redes e Computação (NUPERC)  
Universidade Salvador (UNIFACS)  
Salvador – BA

<sup>2</sup>Centro de Informática (CIn)  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Recife – PE

{raphaaugusto,leobino}@gmail.com, suruagy@unifacs.br, prfc@cin.ufpe.br

**Abstract.** *Despite the advances achieved by service oriented architectures adoption, data originated from measurements is still used in isolated manner. In multidomain network scenarios, performance information needs to be processed and related in such way to present more relevant results, through a metric composition process. Based on recent IETF's discussions, this paper describes a generic model capable of representing the metric composition process with software. Following this model, a library was built. It can be integrated to diverse visualization and monitoring applications. Test made in the ESNet and Géant networks demonstrated the effectiveness of the model, the library, and the IETF standardization.*

**Resumo.** *Apesar dos avanços alcançados pelo uso de infraestruturas orientadas a serviços, dados provenientes das medições ainda são utilizados de forma bastante isolada. Nos cenários de redes multidomínio, informações de desempenho precisam ser processadas e relacionadas de forma a apresentar resultados mais relevantes, por meio de um processo de composição de métricas. Baseado em recentes discussões do IETF, este artigo descreve um modelo genérico capaz de representar em software o processo de composição de métricas. Como validação deste modelo, foi construída uma biblioteca que o implementa e pode ser acoplada a aplicativos diversos de monitoramento e visualização de dados. Testes nas redes ESnet e Géant demonstraram a efetividade do modelo, da biblioteca e das padronizações propostas pelo IETF.*

## 1. Introdução

A necessidade de identificar o desempenho dos trechos que compõem os canais de comunicação da Internet tem motivado diversos domínios administrativos de rede a adotar infraestruturas de serviços de monitoramento [Hanemann et al. 2005, Sampaio et al. 2007]. Essas infraestruturas tornam possível a identificação e isolamento de problemas na rede, mesmo em domínios diferentes, através de arquiteturas orientadas a serviços que provêm métricas como atraso, variação do atraso, perdas e largura de banda disponível em cada trecho.

Embora estes dados isolados sejam úteis, muitas vezes é preciso ter disponível uma medição fim a fim, de forma a ser possível mensurar o impacto de determinado comportamento da rede em cada trecho. O problema surge quando se torna necessário realizar novas medições para cada caminho fim a fim ou finalidade desejados, o que pode provocar uma sobrecarga significativa e desnecessária à rede. Nesta circunstância, surge a necessidade de reutilizar os dados de medição armazenados relativos a cada trecho, de forma a gerar resultados equivalentes aos que seriam obtidos em um teste fim a fim, ou seja, realizar uma composição de métricas.

Mesmo sendo extremamente útil para as infraestruturas de medição e seus usuários, percebe-se que a composição de métricas ainda é pouco utilizada nos *softwares* de monitoramento e visualização atualmente disponíveis. Ferramentas como ICE [Koga et al. 2007a] e CactiSONAR [Sampaio et al. 2007], utilizadas pelos usuários da RNP e o PerfSONARUI [Hanemann et al. 2006a], utilizado pela Internet2 e Géant já garantem acesso a uma grande variedade de dados provenientes dos serviços de medição, porém não exploram todas as possibilidades oferecidas pelas técnicas de composição. Além disso, os registros encontrados na literatura relacionada estão mais direcionados à formalização de conceitos do que a um modelo de implementação [Paxson 1996], [Hanemann et al. 2006b].

O fato é que o tratamento dos dados de medição de forma isolada prejudica o desenvolvimento de ambientes que facilitem a compreensão do comportamento da rede e a identificação de problemas num determinado caminho. Além de proporcionar uma análise complementar da rede, a composição de métricas oferece ainda outras vantagens. Uma delas é a conseqüente diminuição da sobrecarga provocada pelas próprias medições, seja de armazenamento ou até mesmo o tráfego adicional gerado por medições ativas. Isso porque, em muitas circunstâncias, é possível alcançar os resultados desejados a partir de dados previamente armazenados. Além disso, a composição pode ser útil quando se deseja obter um resultado que seria impossível de ser alcançado por meio de um teste fim a fim, devido a fatores como, por exemplo, a incompatibilidade das infraestruturas de medição entre dois pontos.

A partir dessa compreensão, o Grupo de Trabalho IPPM do IETF [IPPM 2010] tem direcionado suas atenções para a composição de métricas de desempenho de redes desde o lançamento da RFC 2330 [Paxson et al. 1998]. Recentemente, esse tema foi detalhado na RFC 5835 [Morton and den Berghe 2010], onde foi proposto um *framework* com especificações gerais sobre como a composição de métricas deve ser realizada, e na RFC 6049 [Morton and Stephan 2011], que implementa uma das definições especificadas neste *framework*.

Essas especificações associada à necessidade identificada na prática motivaram a realização desse trabalho. Uma vez que as propostas do IETF apresentam procedimentos gerais sobre como fazer a composição das métricas, aqui é proposto um modelo genérico e flexível capaz de encapsular as técnicas de composição de métricas em componentes reutilizáveis. Este modelo torna possível que, à medida que novas técnicas e procedimentos de composição sejam propostos, os mesmos possam ser incorporados sem exigir maiores mudanças nas aplicações já desenvolvidas. Além disso, devido à abordagem orientada a componentes, aplicativos de monitoramento e visualização podem usufruir deste modelo para realizar de forma simplificada a composição de métricas.

Seguindo a definição do modelo, uma biblioteca de software foi desenvolvida na linguagem Java para fornecer, de maneira simplificada, às aplicações de monitoramento todas as vantagens proporcionadas pela composição de métricas propostas pelo IETF. A biblioteca foi testada no ambiente de medição das redes ESNNet e Géant por meio de *bundles* desenvolvidos a partir das definições propostas no *framework* FLAVOR [Koga et al. 2007b], e usados na ferramenta ICE [Koga et al. 2007a]. Os resultados dos testes realizados validaram a proposta de composição do IETF, o modelo de composição proposto e a biblioteca desenvolvida.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve as definições do IETF relacionadas com a composição de métricas de desempenho de redes. A Seção 3 apresenta um modelo genérico capaz de representar as definições propostas pelo IETF. A Seção 4 mostra a implementação de uma biblioteca para composição de métricas baseada no modelo proposto. A Seção 5 descreve os testes realizados com a biblioteca. Encerrando, a Seção 6 mostra a conclusão do trabalho realizado e perspectivas futuras para esta pesquisa.

## 2. Composição de métricas de desempenho

Desde a publicação da RFC 2330, que define os principais padrões para medição do desempenho de redes IP, já estavam descritas algumas definições a respeito de composição de métricas. No entanto, diante da gama de possibilidades que tal área oferece, surgiu a necessidade de desenvolver outro documento que tratasse de forma mais detalhada deste assunto. Este esforço foi iniciado pelo Grupo de Trabalho IPPM do IETF [IPPM 2010] com a publicação da RFC 5835 [Morton and den Berghe 2010], que propõe um *framework* de composição de métricas, o qual define de forma genérica os fundamentos desta técnica.

Nas subseções a seguir, serão discutidos os principais conceitos estabelecidos no documento supracitado, além das discussões mais recentes sobre composição de métricas, registradas na RFC 6049 intitulada “Composição Espacial de Métricas” [Morton and Stephan 2011]. Estes documentos fundamentaram o desenvolvimento do modelo funcional para composição de métricas apresentado neste trabalho.

### 2.1. Classes de Métricas de Composição

De acordo com a RFC 5835, as técnicas de composição podem ser divididas em três classes: Agregação Temporal, Agregação Espacial e Composição Espacial. A primeira classe, Agregação Temporal, consiste na composição de métricas de mesmo tipo e escopo, obtidas em diferentes instantes ou janelas de tempo. A metodologia utilizada consiste em agrupar os resultados de forma a identificar padrões, tendências ou anomalias no desempenho da rede. Um exemplo de seu uso é a realização de testes de atraso em intervalos de cinco minutos, durante uma hora, de forma a obter uma análise cronológica do comportamento da rede neste período.

Já a Agregação Espacial é realizada a partir de medições do mesmo tipo e diferentes escopos, independente do instante ou janela de tempo em que foi obtida, com o objetivo de estimar o desempenho geral de uma rede extensa. Neste modelo, é possível aplicar os efeitos da matriz de tráfego associada a cada trecho, de forma a ponderar os resultados obtidos de acordo com o tráfego observado. Dessa forma, esta técnica é útil

principalmente para obter uma visão geral da rede, ou identificar gargalos em determinada rota, como o atraso máximo observado nos trechos que compõem um caminho fim a fim.

A última classe, a Composição Espacial, define uma composição de métricas do mesmo tipo e, preferencialmente, diferentes escopos. O objetivo é concatenar medições de vários trechos da rede, de forma a estimar o resultado que seria obtido em uma medição fim a fim. Assim, pode-se citar como exemplo a soma dos atrasos de diferentes trechos adjacentes em um caminho de rede para obter uma estimativa do atraso fim a fim. Cabe observar que segundo a RFC 5835, a principal diferença entre a Composição Espacial e a Agregação Espacial é que enquanto na primeira os valores de cada trecho devem ter o mesmo peso na formação da métrica, na segunda cada trecho pode receber diferentes ponderações, de acordo com fatores como a matriz de tráfego da rede.

É importante considerar também que, embora as três classes de métricas apresentadas anteriormente sejam válidas, as duas primeiras — Agregação Temporal e Agregação Espacial — geram resultados mais precisos que a última — Composição Espacial. Dessa forma, tal característica pode ser adotada como critério para a escolha da metodologia mais adequada para cada circunstância.

Além das modalidades já citadas, uma situação especial surge quando os resultados de composições são utilizados como elementos para realizar uma outra etapa de composição ou agregação, processo este que é chamado de Composição de Ordem Superior. Este tipo de composição pode ser aplicado em situações onde se deseja, por exemplo, obter uma média diária do atraso da rede a partir de um conjunto de composições obtidas em intervalos de uma hora, estas por sua vez formadas a partir de medições elementares registradas de cinco em cinco minutos. Entretanto, mesmo neste novo modelo, continuam válidas as regras aplicáveis às classes anteriormente descritas.

## 2.2. Composição Espacial

Embora não apresente a mesma precisão das outras duas classes de composição apresentadas, a Composição Espacial merece especial atenção em virtude de suas aplicabilidades práticas. Prova disto são as recentes discussões do IETF a seu respeito, o que levou à produção da já citada RFC 6049. Por esses motivos essa subseção é dedicada ao aprofundamento das principais características desta modalidade de composição.

A Composição Espacial consiste, fundamentalmente, na geração de métricas relativas a um caminho completo de rede, a partir de medições obtidas nos diversos trechos que compõem este caminho. Isso pode ser aplicado em situações como o cálculo do atraso fim a fim, que pode ser realizado por meio da soma dos atrasos de todos os trechos que compõem o caminho. Embora não se deva esperar que o resultado desta composição seja extremamente preciso, a utilização de estatísticas baseadas em uma quantidade razoável de amostras pode gerar algo próximo do que seria obtido em um teste fim a fim.

Ainda com relação à perda de precisão, a Composição Espacial torna-se relevante na medida em que existem situações onde não é possível realizar a medição desejada fim a fim. Por exemplo, o caminho em questão pode ultrapassar dois ou mais domínios de rede com políticas ou serviços conflitantes e, neste caso, a Composição Espacial pode ser utilizada para obter o resultado desejado por meio de dados elementares dos trechos que formam o caminho completo.

A RFC 6049 estabelece regras para esta modalidade de composição com base nas três métricas primárias definidas pelo IPPM [IPPM 2010], são elas: atraso, perda e variação do atraso. A composição do atraso pode ser realizada pela soma do atraso mínimo ou médio observado em cada trecho. Os métodos utilizados para os cálculos são dados, respectivamente, pelas Equações 1 e 2, onde  $S$  corresponde ao número total de trechos que compõem o caminho.

$$\sum_{s=1}^S (AtrasoMédio [s]). \quad (1)$$

$$\sum_{s=1}^S (AtrasoMínimo [s]). \quad (2)$$

Já a composição da perda pode ser obtida pela combinação das probabilidades empíricas (*Empirical Probability* –  $Ep$ ) de cada trecho do caminho. O cálculo de  $Ep$  é realizado de forma compatível com a “Perda Média” definida na RFC 2680 [Almes et al. 1999]. O método utilizado para obter a composição das  $Ep$ 's de cada trecho é dada pela Equação 3 onde  $S$  corresponde ao número total de trechos que compõem o caminho.

$$CompPerda = 1 - \{(1 - Ep_1) \times (1 - Ep_2) \times (1 - Ep_3) \times \dots \times (1 - Ep_S)\} \quad (3)$$

Por fim, para o cálculo da composição da variação do atraso é utilizada uma convolução aproximada, definida pela relação 4 onde  $dy$  e  $dz$  indicam uma integração parcial, da qual  $y$  e  $z$  são as variáveis de integração.  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  são variáveis aleatórias que representam a distribuição da variação do atraso de cada trecho que compõe o caminho de rede sendo analisado.

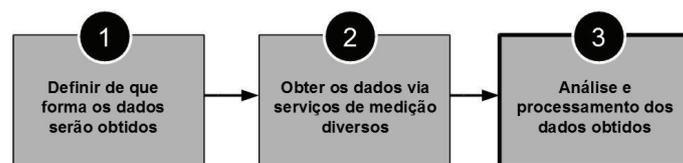
$$P(X + Y + Z \leq A) = \int_z \int_y P(X \leq a - y - z) \times P(Y = y) \times P(Z = z) dy dz \quad (4)$$

Mais detalhes a respeito desta e das demais relações válidas para Composição Espacial apresentadas nesta seção podem ser encontradas na RFC 6049 e literatura relacionada.

### 3. Um modelo para composição de métricas

Partindo das motivações apresentadas na seção 1 e dos fundamentos descritos na seção 2, foi elaborado um modelo capaz de representar de forma genérica e flexível as classes de composição propostas pela RFC 5835. Este modelo sistematiza o processo de composição de métricas, de maneira a facilitar a agregação desta funcionalidade aos aplicativos de monitoramento por meio de componentes reutilizáveis. Além disso, o modelo proposto torna a implementação da composição de métricas menos onerosa aos aplicativos, e permite que estes se adequem facilmente às diferentes infraestruturas de monitoramento através do reuso e criação de novos componentes.

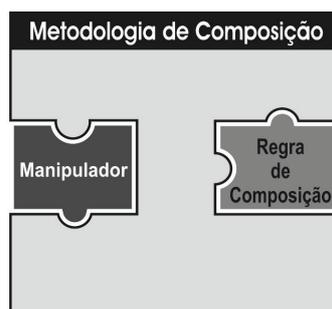
Para a concepção do referido modelo, foi realizada inicialmente uma análise do processo de composição de métricas, dividindo este em três etapas, como mostrado na Figura 1. A primeira consiste em definir de que forma os dados serão obtidos, ou seja, escolher quais fontes devem ser consultadas, quais serviços de medição serão utilizados, etc. A segunda compreende a obtenção dos dados, a partir de um ou mais serviços de medição, o que requer conhecimento das interfaces disponibilizadas pelos mesmos para



**Figura 1. Etapas do processo de composição de métricas**

recuperação de informações. Por fim, a terceira etapa envolve a composição propriamente dita, ou seja, a análise e processamento das medições segundo uma determinada regra previamente definida, a fim de gerar resultados sumarizados.

O modelo de composição proposto faz a abstração de tais etapas por meio de três tipos de componentes, a saber, componente de “regra de composição”, um ou mais componentes “manipuladores” e uma “metodologia de composição”, como mostrado na Figura 2. Dessa forma, tais componentes podem ser combinados para representar os diversos tipos de composição definidos no RFC 5835. As próximas subseções explicam em detalhes os elementos mostrados nesta figura.



**Figura 2. Estrutura do modelo proposto**

### 3.1. Manipuladores

A operação mais complexa do processo de composição é a coleta dos dados. Isso se deve ao fato de que geralmente diferentes serviços de medição precisam ser consultados, possivelmente em mais de um domínio de rede e podem retornar informações em formatos incompatíveis. Assim, surge a necessidade de uma classe de componentes capaz de abstrair esta tarefa. Estes componentes são aqui chamados de manipuladores.

Os manipuladores são componentes responsáveis por interagir diretamente com os serviços de medição, obtendo destes os dados desejados de forma transparente aos outros elementos do modelo. Seu principal objetivo é garantir um nível de abstração suficiente para isolar a complexidade referente à interação com tais serviços, de forma que os demais componentes precisem saber tão somente como utilizar o manipulador correspondente.

Para garantir esse isolamento, a comunicação com os manipuladores é realizada através de mensagens padronizadas de requisição e resposta. A mensagem de requisição informa os parâmetros para a interação com os serviços de medição, como o endereço de um servidor de arquivos de medição, ou ponto final de um teste sob demanda. Já a mensagem de resposta retornada pelo manipulador contém um conjunto de dados em um formato padronizado, que pode ser processado de forma a gerar uma métrica composta.

Um exemplo de como atua este componente é ilustrado na Figura 3. De acordo com a figura, o primeiro passo consiste no envio de uma mensagem de requisição para o manipulador (1), informando os parâmetros e opções desejados. Em seguida, esta mensagem é recebida e com base em suas informações o manipulador requisita ao serviço de medição os dados desejados (2). Assim que tal serviço retorna o que foi solicitado (3), o manipulador organiza os dados recebidos em uma mensagem de resposta e a envia ao requisitante (4).

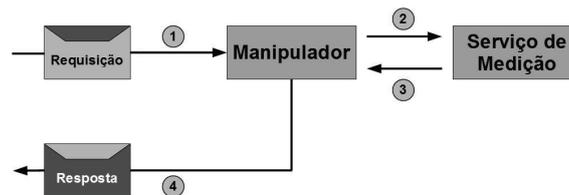


Figura 3. Funcionamento de um manipulador

### 3.2. Regras de Composição

A composição de métricas tem como principal objetivo realizar o pós-processamento de medições elementares [Morton and den Berghe 2010]. Para isso, podem ser usados diversos métodos matemáticos, que definem como um conjunto de medições deve ser analisado, de forma a gerar informações sumarizadas do comportamento da rede. No modelo proposto, esta tarefa é realizada por meio dos componentes denominados regras de composição.

Estes componentes recebem dados de medições possivelmente recuperados a partir de um ou mais manipuladores, e com base no método que implementam, retornam um resultado alcançado por meio de composição. Por exemplo, uma regra referente à composição do atraso mínimo recebe como entrada os atrasos observados em cada trecho de um caminho de rede, e retorna a soma destes atrasos, que representa um valor próximo do que seria observado em uma medição fim a fim.

Como discutido na seção 2, a RFC 6049 apresenta, além da composição do atraso mínimo citada acima, outros métodos pré-definidos para composição de métricas. Todas estas definições são diretamente suportadas pelo modelo através das regras de composição, que atuam sob coordenação das metodologias de composição, as quais serão apresentadas a seguir.

### 3.3. Metodologias de Composição

O objetivo da metodologia de composição é contemplar a definição da forma como os dados são obtidos, conforme etapa 1 da Figura 1. Ou seja, a metodologia organiza a coleta de dados, determinando as fontes que precisam ser consultadas para obter as medições necessárias e a sequência de interação com tais fontes de dados.

As metodologias de composição também coordenam a execução de todas as fases de um teste. Essa coordenação consiste no manuseio de regras de composição e dos manipuladores acoplados a ela. Juntos, esse conjunto de componentes é capaz de representar qualquer tipo de composição desejada, uma vez que seus elementos são suficientemente genéricos e passíveis de serem estendidos e especializados, de forma a comportar as peculiaridades inerentes aos diversos métodos e ambientes de monitoramento.

As metodologias garantem que diferentes manipuladores e regras de composição possam ser utilizados consigo. Para isso são definidos os tipos de componentes que podem ser utilizados e, conseqüentemente, os seus pré-requisitos. Dessa forma, um manipulador, capaz de fornecer o atraso fim a fim, pode ser acoplado a qualquer metodologia que necessite dessa funcionalidade. O mesmo princípio vale para as regras de composição.

Esta possibilidade de utilizar diferentes regras e manipuladores com uma mesma metodologia torna o modelo de composição proposto altamente flexível, pois viabiliza inúmeras combinações entre os componentes sem perder a coerência nem tampouco comprometer a integridade das funcionalidades oferecidas. Conseqüentemente, o esforço de implementação diminui à medida que o tempo de utilização do modelo aumenta, pois, quanto mais componentes desenvolvidos, maiores serão as possibilidades de reuso.

A próxima seção descreve uma implementação do modelo proposto que, além de validá-lo, também evidencia o poder de seus componentes. Alguns detalhes de utilização, bem como a forma como os componentes interagem para produzir métricas compostas omitidos nesta seção, também serão detalhados a seguir.

#### **4. Uma biblioteca para composição de métricas**

A validação do modelo de composição levou à construção de uma biblioteca que provê um conjunto de implementações para os componentes propostos. Esta biblioteca foi desenvolvida utilizando a linguagem Java, e usufrui das possibilidades providas pelo paradigma orientado a objetos para garantir a flexibilidade idealizada pelo modelo proposto. Foram usados também conceitos e estruturas definidas no *framework* FLAVOR para a construção de alguns componentes, em especial os manipuladores.

Assim, dado as características citadas acima, a biblioteca pode ser facilmente expandida e utilizada por diversas ferramentas de monitoramento. Essa flexibilidade deve-se à definição de interfaces que padronizam a forma como os componentes devem ser implementados. Além do modelo, o desenvolvimento teve como referência os conceitos apresentados e discutidos na seção 2. As próximas subseções detalham o desenvolvimento da biblioteca.

##### **4.1. Manipuladores**

A implementação dos manipuladores na biblioteca foi organizada de acordo com os três tipos de medições primárias definidas pelo IPPM: atraso, variação do atraso e perda. Dessa forma, é possível acoplar estes componentes dinamicamente às metodologias de composição, já que cada uma destas define o(s) manipulador(es) que suporta com base no tipo de informação que necessita para realizar a composição.

A Figura 4 ilustra a hierarquia montada para implementar os manipuladores. Na parte superior da figura, são mostradas as interfaces definidas tanto para a construção dos manipuladores quanto de suas mensagens. Assim, todo manipulador deve ser desenvolvido a partir de um ou mais subtipos, ou seja, se comprometer a fornecer pelo menos um tipo de informação. Esse acordo pode ser visualizado na parte inferior da figura, que mostra um exemplo de manipulador —“Manipulador OWAMP— implementado a partir de um dos subtipos disponíveis, “Atraso”.

Ainda na Figura 4, é mostrada uma hierarquia simples para a definição das mensagens de requisição e resposta dos manipuladores. Nesse ponto, é importante observar

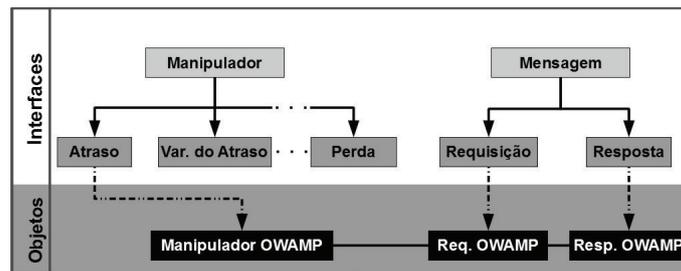


Figura 4. Hierarquia de implementação dos manipuladores

que para cada manipulador desenvolvido, é obrigatório que suas mensagens também sejam definidas.

#### 4.2. Regras de Composição

Seguindo as definições do *framework* proposto pela RFC 5835 as regras de composição foram implementadas como ilustra a Figura 5. Nesta abordagem, cada regra deve ser construída a partir de um subtipo existente, herdando assim suas características fundamentais. A figura mencionada representa a criação de uma regra de composição denominada “Composição do Atraso Mínimo”, que como discutido na seção 2, faz parte do grupo “Composição Espacial”.

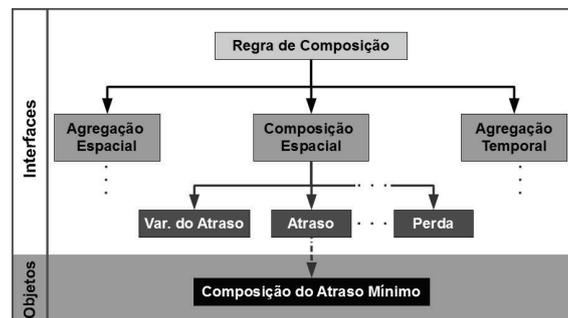


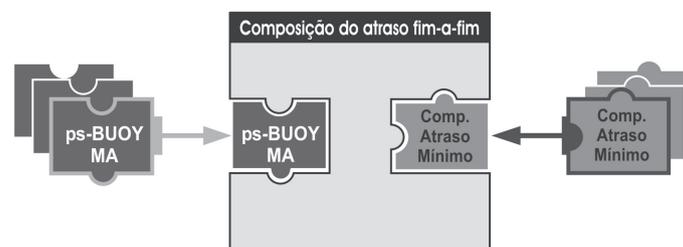
Figura 5. Hierarquia de implementação das regras de composição

#### 4.3. Metodologias de Composição

Assim como nas regras de composição, as metodologias foram classificadas de acordo com os três tipos de composição definidos na RFC 5835, de forma que toda e qualquer nova metodologia a ser implementada deve também partir das especificações de um, e somente um, dos três tipos previamente definidos.

Neste ponto, após apresentadas as implementações dos três componentes do modelo proposto, é possível analisar mais detalhadamente como estes interagem para realizar uma composição. A Figura 6 mostra um exemplo concreto que utiliza a metodologia “Composição do atraso fim a fim”. Este tipo de composição requer a utilização de um manipulador capaz de fornecer dados de atraso, e uma regra pertencente à classe “Composição Espacial” que seja capaz de compor dados também de atraso. Dessa forma, foram escolhidos dentre um conjunto de componentes disponíveis e compatíveis com tais especificações, o manipulador “pS-BUOY MA” e a regra “Composição do Atraso Mínimo”.

É importante observar que, embora o exemplo da Figura 6 use apenas um único manipulador, podem ser utilizados quantos forem necessários para obter os dados desejados. No entanto, por motivos de consistência, apenas uma regra de composição é permitida. De posse desses componentes, a metodologia deverá então coordenar a utilização dos mesmos de forma a cumprir seu objetivo final, ou seja, gerar um resultado sumarizado a partir dos dados recebidos.



**Figura 6. Exemplo de utilização de uma metodologia**

A Figura 7 apresenta um fragmento de código que corresponde a uma implementação simplificada do exemplo anterior. Na primeira linha, nota-se que a metodologia foi criada a partir da interface “Composição Espacial”, herdando portanto as características deste grupo. Na terceira linha, é definido que será necessário um manipulador capaz de fornecer dados de atraso, e na quarta linha fica estabelecido que a regra de composição a ser utilizada deve ser do tipo “Composição Espacial do Atraso”, que corresponde a uma regra pertencente ao mesmo grupo da “Composição do Atraso Mínimo” mostrada na Figura 5. Na sexta linha é implementado o método padronizado responsável por dar início ao processo de composição, recebendo uma requisição genérica, e retornando um objeto contendo o resultado da aplicação da regra escolhida. É importante ressaltar que diversos outros detalhes são definidos na implementação de uma Metodologia, porém estes foram omitidos neste exemplo para simplificar a apresentação.

```

1 public class E2EDelayCompositionMethodology extends SpatialCompositionMethodology {
2
3     private DelayCompatibleService delayService;
4     private DelaySpatialCompositionRule rule;
5
6     public CompositionDelayResult applyMethodology(GenericRequest request){
7         //implementation
8     }
9
10 }
```

**Figura 7. Implementação simplificada de uma metodologia**

Vale observar também que a metodologia definida na Figura 7 não faz referência a tipos especializados de componentes, mas sim a tipos genéricos com base nas hierarquias apresentadas nas subseções 4.1, 4.2 e 4.3. Isto garante a flexibilidade da implementação, e corrobora os princípios do modelo apresentado na seção 3, ou seja, promove o reuso dos componentes e customização dos testes sem necessidade de nenhum esforço adicional quanto à codificação.

## 5. Experimentos Realizados

A fim de validar as definições do IPPM sobre composição de métricas, bem como o modelo proposto e biblioteca desenvolvida, foram realizados experimentos em um ambiente

de medição real. Os procedimentos utilizados e resultados obtidos são apresentados nas próximas subseções.

### 5.1. Metodologia utilizada

Os experimentos realizados tiveram como principal objetivo averiguar a distorção entre medições fim a fim e resultados obtidos através de composição. Para isso, foram definidos os pontos iniciais e finais de cada teste — com base na distância geográfica e a quantidade de nós intermediários — bem como a rota que estava sendo utilizada no momento da medição. Dessa forma, foram colhidos resultados de cada trecho que compõe o caminho completo, referentes ao mesmo intervalo de tempo da medição fim a fim, sendo utilizados então para realizar a composição.

Seguindo este procedimento, foram conduzidos testes em dois ambientes de medição distintos. O primeiro foi a rede Géant, que utiliza uma arquitetura orientada a serviços baseada no perfSONAR [Hanemann et al. 2005] e mantém pontos de medição que realizam a coleta de dados de desempenho e os enviam para um ponto de acesso centralizado, o qual utiliza o framework HADES [Holleczek et al. 2006] para disponibilização destes dados.

O segundo ambiente utilizado foi a rede ESnet (*Energy Sciences Network*). Esta rede também utiliza uma arquitetura orientada a serviços baseada no perfSONAR e mantém pontos de medição que utilizam o pS-Performance Toolkit [Internet2 2010a] para gerenciar a realização de testes. Os arquivos de medição desta rede são disponibilizados por meio do serviço pS-BUOY MA [Internet2 2010b].

Com base nos ambientes acima descritos, foi realizada a implementação dos componentes necessários na biblioteca de composição de métricas, apresentada na seção 4. Assim, foram criados os manipuladores “HADES MA” e “pS-BUOY MA” para recuperar os dados tanto fim a fim como referentes a cada trecho que compõe o caminho, assim como as regras de composição “Composição Espacial do Atraso Mínimo” – utilizada nos testes com a rede ESnet – e “Composição Espacial do Atraso Médio” – utilizada nos testes com a rede Géant – sendo que ambas implementam as definições do IPPM descritas na subseção 2.2. Por fim, foi implementada a metodologia “Composição Espacial do Atraso”, que pode servir tanto a composições de atraso mínimo quanto médio, dependendo apenas da regra de composição escolhida, e aceita ambos os manipuladores desenvolvidos.

### 5.2. Resultados obtidos

Os experimentos realizados na rede Géant partiram de um nó fonte localizado em Atenas, Grécia, em direção a outro nó localizado em Riga, Letônia. A partir desses pontos, foi obtida a partir do HADES a rota que estava sendo utilizada entre 0h e 23h59m59s do dia 9 de dezembro de 2010. A Figura 8(a) ilustra esta rota, que parte de Atenas (A), passando por Viena — Áustria (B), Praga — República Checa (C), Poznan — Polônia (D), Kaunas — Lituânia (E), e finalmente chegando ao nó destino em Riga (F).

Os resultados obtidos tanto a partir da medição fim a fim quanto mediante composição utilizando a rota acima descrita são apresentados na Figura 9, e foram recuperados a partir dos arquivos de medição disponibilizados por servidores do DFN Lab da Universidade de Erlangen-Nuremberg. Esta figura mostra um gráfico comparativo, cujo

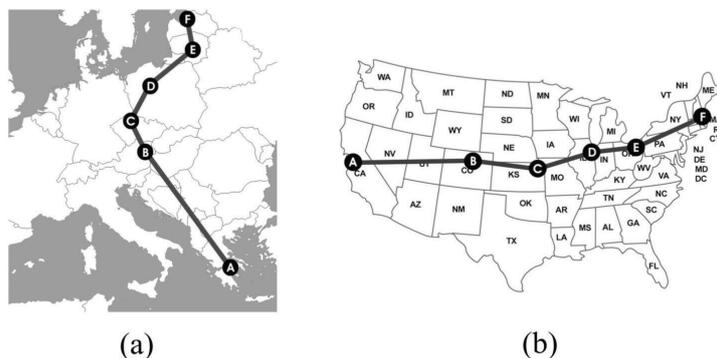


Figura 8. Rota de realização dos testes na ESnet (a) e Géant (b)

eixo vertical representa o atraso em milissegundos, o eixo horizontal representa o número de sequência da amostra, a linha sólida mostra os resultados obtidos através de medição fim a fim e a linha pontilhada representa o resultado obtido a partir da composição do atraso média. A janela de tempo utilizada forneceu um total de 1440 amostras válidas, colhidas em intervalos de um minuto.

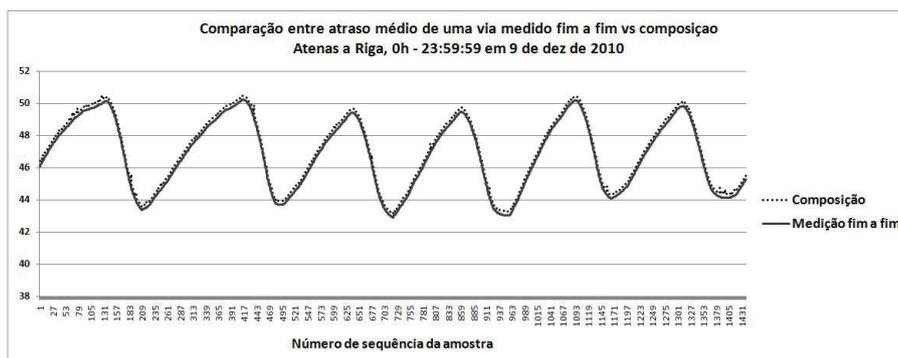


Figura 9. Comparação entre medição fim a fim e composição (Géant)

Já os experimentos realizados na rede ESnet partiram de um nó na cidade de Sunnyvale, estado da Califórnia, em direção a outro nó localizado em Boston, estado de Massachusetts. A partir desses pontos, foi obtida a rota que estava sendo utilizada entre 0h e 23h59m59s do dia 13 de dezembro de 2010, disponibilizada pelo serviço *Reverse Traceroute* [Katz-Basset et al. 2010]. A Figura 8(b) ilustra a rota reportada, que parte de Sunnyvale (A), passando por Denver — Colorado (B), Kansas City — Kansas (C), Chicago — Illinois (D), Cleveland — Ohio (E), e finalmente chegando ao nó destino em Boston (F).

A Figura 10 mostra os resultados dos experimentos realizados neste ambiente, recuperados a partir dos arquivos de medição de cada nó. Nesta figura, a linha sólida mostra os resultados obtidos através de medição fim a fim e a linha pontilhada representa o resultado obtido a partir da composição do atraso mínimo. A janela de tempo utilizada forneceu um total de 1437 amostras válidas, colhidas em intervalos de um minuto.

De acordo com os resultados apresentados, percebe-se que há uma baixa margem de erro entre os valores obtidos via medição fim a fim e por meio de composição. A

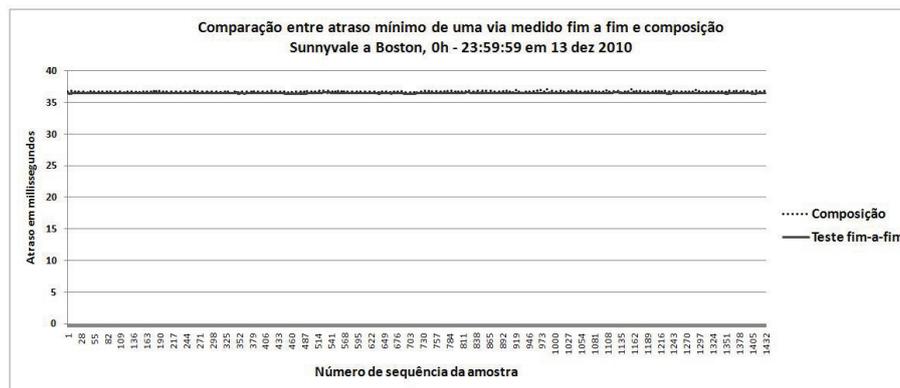


Figura 10. Comparação entre medição fim a fim e composição (ESnet)

variação dessas duas medidas nos testes realizados chega ao máximo de 0,74 milissegundos no primeiro experimento e 0,62 milissegundos no segundo — o que corresponde a 0,35% e 0,22% em relação à medição fim a fim — e tem como média 0,22 e 0,27 milissegundos no primeiro e segundo experimento, respectivamente — o que corresponde a 0,1% e 0,098% comparado à medição fim a fim. Cabe ressaltar que não foi observada nenhuma perda nas amostras utilizadas. Assim, estes resultados apontam para uma possível eficácia da composição e a viabilidade de sua utilização em ambientes de monitoramento.

## 6. Conclusões e trabalhos futuros

Este trabalho mostra a importância da composição de métricas para as infraestruturas de monitoramento de redes, e propõe um modelo genérico e flexível para a incorporação destas técnicas às ferramentas de monitoramento e visualização. A biblioteca apresentada como implementação deste modelo comprova a viabilidade do mesmo e sua aplicabilidade prática.

Os testes realizados com a biblioteca desenvolvida demonstraram a eficácia das técnicas propostas pelo IPPM, a partir da comparação entre medições fim a fim e resultados obtidos através de composição, em dois ambientes de rede distintos.

Como trabalhos futuros, serão desenvolvidos novos componentes, de forma a contemplar todas as formas de composição descritas na RFC 6049 e ampliar a quantidade de serviços de medição e infraestruturas diferentes suportadas pela biblioteca. Assim, poderão ser realizados mais testes em novos ambientes como a Rede Ipê, bem como em cenários multidomínio com infraestruturas de monitoramento incompatíveis, tornando possível consolidar os resultados obtidos e definições propostas pelo IPPM.

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa da Bahia (FAPESB) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte fornecido à realização desse trabalho.

## Referências

- Almes, G., Kalidindi, S., and Zekauskas, M. (1999). RFC 2680: A one-way packet loss metric for ippm. Status: Standards Track.
- Hanemann, A., Boote, J. W., Boyd, E. L., Durand, J., Kudarimoti, L., apacz, R., Swany, D. M., Trocha, S., and Zurawski, J. (2005). PerfSONAR: A service oriented architec-

- ture for multi-domain network monitoring. In *Service-Oriented Computing - ICSOC 2005*, volume 3826 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 241–254. Springer Berlin / Heidelberg.
- Hanemann, A., Jeliaskov, V., Kvittem, O., Marta, L., Metzger, J., and Velimirovic, I. (2006a). Complementary visualization of perfsonar network performance measurements. In *Proceedings of the International Conference on Internet Surveillance and Protection (ICISP)*. IARIA/IEEE.
- Hanemann, A., Liakopoulos, A., Molina, M., and Swany, D. M. (2006b). A study on network performance metrics and their composition. In *Campus-Wide Information Systems, Vol. 23 Iss: 4*, pp.268 - 282.
- Holleczeck, P., Karch, R., Kleineisel, R., Kraft, S., Reinwand, J., and Venus, V. (2006). Statistical characteristics of active ip one way delay measurements. *Networking and Services, International conference on*, 0:1.
- Internet2 (2010a). Network performance toolkit. <http://www.internet2.edu/performance/toolkit/>.
- Internet2 (2010b). perfsonar-buoy measurement archive. <http://www.internet2.edu/performance/pS-PS/perfsonar-buoy.html>.
- IPPM (2010). Ip performance metrics. <http://datatracker.ietf.org/wg/ippm/charter/>.
- Katz-Basset, E., Madhyastha, H. V., Adhikari, V. K., Scott, C., Sherry, J., van Wesep, P., Anderson, T., and Krishnamurthy, A. (2010). Reverse traceroute. In *NSDI'10 Proceedings of the 7th USENIX conference on Networked systems design and implementation*. USENIX Association Berkeley.
- Koga, I., Monteiro, H., Sampaio, L., and Monteiro, J. A. S. (2007a). Ice: A flexible network monitoring access environment. In *Salão de ferramentas do XXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, Belém, PA. Anais do SBRC 2007.
- Koga, I., Sampaio, L., and Monteiro, J. A. S. (2007b). Flavor: A dynamic and open framework for the development of network measurement access and visualization tools. In *XXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, Belém, PA. Anais do SBRC 2007.
- Morton, A. and den Berghe, S. V. (2010). RFC 5835: Framework for metric composition.
- Morton, A. and Stephan, E. (2011). Spatial Composition of Metrics. RFC 6049 (Proposed Standard).
- Paxson, V. (1996). Towards a framework for defining internet performance metrics. In *Proc. INET '96*.
- Paxson, V., Almes, G., Mahdavi, J., and Mathis, M. (1998). RFC 2330: Framework for IP performance metrics. Status: INFORMATIONAL.
- Sampaio, L., Koga, I., Souza, H., Costa, R., Monteiro, J. A. S., Vetter, F., Fernandes, G., and Vetter, M. (2007). Implementing and deploying network monitoring service oriented architectures. In *5th Latin American Network Operations and Management Symposium*.