

# Avaliação de Desempenho do *Middleware Global Sensor Network (GSN)* em execução em ambientes *IoT-Fog*

Vinícius A. Barros<sup>1</sup>, Herik M. Serra<sup>1</sup>, Júlio C. Estrella<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – Universidade de São Paulo (USP)  
Avenida Trabalhador São-carlense, 400 – 13566-590 – São Carlos - SP – Brazil

{viniciusaires, hmserra}@usp.br, {jcezar}@icmc.usp.br

**Abstract.** Este trabalho tem como objetivo apresentar uma avaliação de desempenho do *Middleware GSN* em execução em diferentes versões do *Raspberry Pi*, para o provisionamento de serviços em ambientes de *IoT* e *Fog*. Neste estudo, diferentes cargas de trabalho foram aplicadas com base nas distribuições estatísticas *Uniforme* e *Poisson* com a finalidade de mensurar o desempenho da API *RESTful* presente no *GSN*. Os resultados mostraram que o *Raspberry Pi 3* apresentou um desempenho superior em relação aos demais dispositivos.

## 1. Introdução

A tecnologia encontra-se em constante evolução, o que permitiu uma diminuição progressiva no preço de dispositivos embarcados e sensores, ao mesmo tempo em que aumentam-se as capacidades de processamento e armazenamento. Com a diminuição do custo destes dispositivos, surgiu um novo conceito de conexão de objetos em rede, conhecido como *Internet das Coisas* (do inglês, *Internet of Things (IoT)*) [Koreshoff et al. 2013]. Neste contexto, o objetivo da *IoT* é permitir que indivíduos e objetos estejam conectados, em algum horário e lugar, com qualquer coisa por meio de diferentes caminhos, redes ou serviços. Atualmente, diversos *Middlewares* são utilizadas no contexto de *IoT*, como o *Global Sensor Networks (GSN)*<sup>1</sup>, *OpenIoT*<sup>2</sup> e *Xively*<sup>3</sup>. Entretanto, as soluções estão em desenvolvimento e apresentam desafios ainda não superados, como a aquisição redundante de dados, heterogeneidade do ambiente, problemas de desempenho, segurança e qualidade dos dados adquiridos [Bhuyan et al. 2010]. Neste contexto, surgiu o conceito de *Computação em Névoa* (do inglês, *Fog Computing*), que busca amenizar os problemas enfrentados [Vermesan et al. 2013].

Em um trabalho anterior foi realizada uma avaliação de desempenho da abordagem *Internet of Things Data as a Service Module (IoTDSM)*, onde avaliou-se múltiplos tipos de bancos de dados (PostgreSQL e MongoDB) e formatos de saída (JSON e XML) [Barros et al. 2018]. Com base nos desafios apresentados, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho do *Middleware GSN*, sob o conceito de *Computação em Névoa* para a provisão de serviços em *IoT*. Nesta avaliação, foi utilizado o *Raspberry Pi* (1, 2 e 3) como dispositivos da névoa (*fog nodes*) para execução do *Middleware GSN*. Em seguida, aplicou-se uma metodologia para a avaliação de desempenho da API *RESTful* do *GSN* com base na definição de um teste de carga. O teste de carga foi gerado a partir das distribuições estatísticas *Uniforme* e *Poisson*, com a finalidade de simular um comportamento mais realista da taxa de chegada das requisições.

## 2. Internet das Coisas & Computação em Névoa

A comunicação entre objetos em *IoT* é realizada por meio de protocolos tradicionais de redes de computadores, como o Protocolo de Controle de Transmissão (*TCP*)

<sup>1</sup><http://lsir.epfl.ch/research/current/gsn/>

<sup>2</sup><http://www.openiot.eu/>

<sup>3</sup><https://xively.com/>

e o Protocolo de Interconexão (*IP*), utilizando conexões de rede com ou sem fio [Atzori et al. 2010]. Estas características facilitam a integração da *IoT* com diversas aplicações pré-existentes, por exemplo, *software* baseados em Arquiteturas Orientadas a Serviço (*SOA*) e Computação em Nuvem. Atualmente, diversos dispositivos embarcados são utilizados em *IoT*, como, por exemplo, o *Raspberry Pi*<sup>4</sup>. Por se tratar de um dispositivo embarcado, este tipo de aparelho apresenta configurações de *hardware* inferiores quando comparado a computadores tradicionais. Desta forma este artigo apresenta uma avaliação de desempenho do *Middleware GSN* para o provisionamento de recursos em ambientes de Computação em Névoa, utilizando o *Raspberry Pi* como *hardware* de execução do referido *Middleware*.

A Computação em Névoa é um paradigma que estende os serviços da Computação em Nuvem para a borda da rede e atua como uma camada intermediária entre os *data centers* e os dispositivos da *IoT*. Este novo conceito propõe que parte da computação seja feita na periferia da rede, utilizando-se de uma plataforma altamente virtualizada que fornece processamento, armazenamento e serviços para dispositivos tradicionais e servidores da nuvem. Além disso, também são características fundamentais o suporte oferecido à mobilidade, a quantidade massiva de nós, a ampla distribuição geográfica de objetos, a heterogeneidade de dispositivos e interface, dentre outros, além de permitir interações em tempo real e o uso predominante de tecnologias sem fio [Bonomi et al. 2012].

### 3. Avaliação de Desempenho

Para a execução da avaliação de desempenho, foi definido um ambiente experimental, descrito em sequência. Com base no referido ambiente experimental, foi executado o teste de carga na *API RESTful* do *Middleware GSN* em execução no *Raspberry Pi*. Desenvolveu-se também um *bash script* que facilitou a instalação do *GSN*<sup>5</sup>. Por fim, descreve-se, a seguir, a metodologia de avaliação de desempenho utilizada e suas particularidades.

#### 3.1. Planejamento de Experimento

A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados para a execução do experimento. Observa-se que foram submetidas variações de 10, 100 e 1.000 requisições ao *Raspberry Pi*. Definiu-se o planejamento de experimento como um fatorial completo, no qual são executadas todas as combinações entre fatores e níveis de um conjunto de experimentos. Além disso, os experimentos foram realizados com base em duas distribuições estatísticas, a Uniforme e *Poisson* com a finalidade de simular um cenário mais realista da taxa de chegada das requisições. Utilizou-se então a ferramenta Apache *JMeter*<sup>6</sup> que forneceu parâmetros padrões para geração de carga de trabalho com base nas distribuições Uniforme e *Poisson*. Por fim, cada experimento foi repetido 30 vezes, possibilitando avaliar a variação do tempo de resposta observado.

**Tabela 1. Parâmetros de Experimento.**

Fator	Nível
<i>Raspberry Pi</i>	1, 2 e 3
Número de Usuários	10, 100, 1.000
Distribuição Estatística	Uniforme e <i>Poisson</i>
Número de Replicações	30

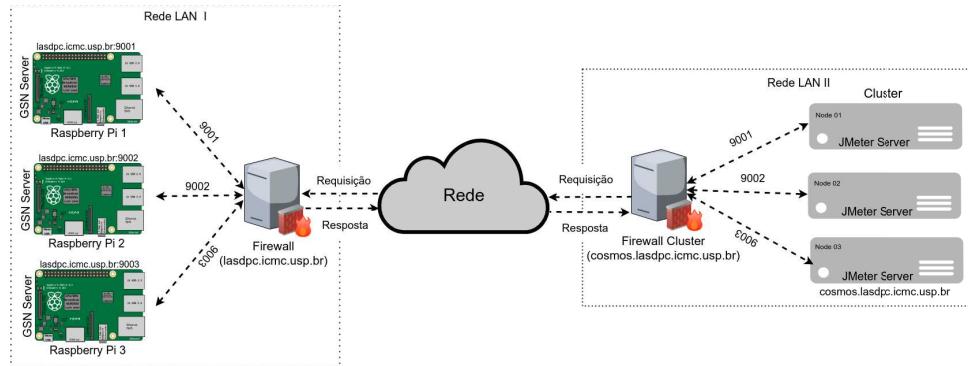
A Figura 1 ilustra a configuração de experimento utilizada para execução do teste de carga. Observa-se que as máquinas clientes (geradores de carga de trabalho) e os

<sup>4</sup><https://www.raspberrypi.org/>

<sup>5</sup>git clone <http://redmine.lasdpc.icmc.usp.br/lasdpc/gsn-script.git>

<sup>6</sup><https://jmeter.apache.org/>

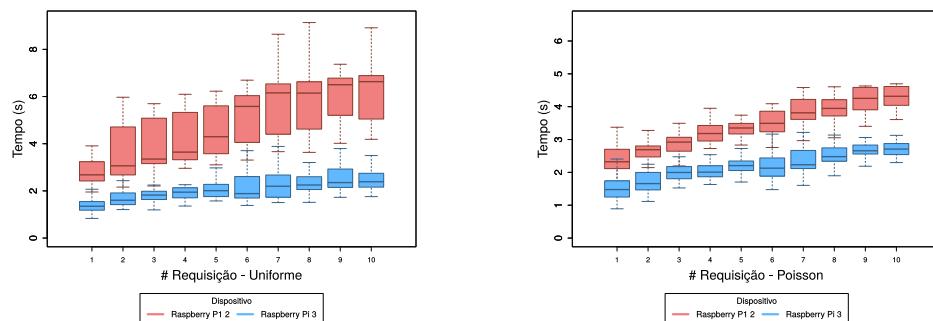
*Raspberry Pi's* estão em redes *Local Area Network (LAN)* distintas. Cada *Raspberry Pi* recebeu um *IP* e uma porta e, a partir desses endereços, foram submetidas as requisições. A comunicação entre as duas redes *LAN* foi realizado por meio de uma rede privada a fim de avaliar os resultados em ambiente isolado.



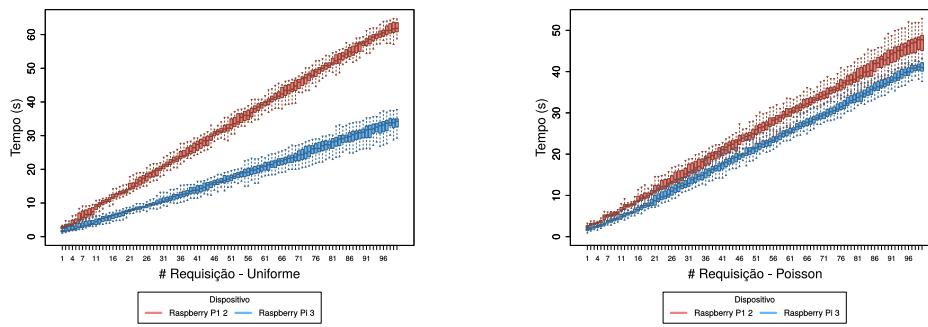
**Figura 1. Setup Experimental.**

#### 4. Resultados e Considerações Finais

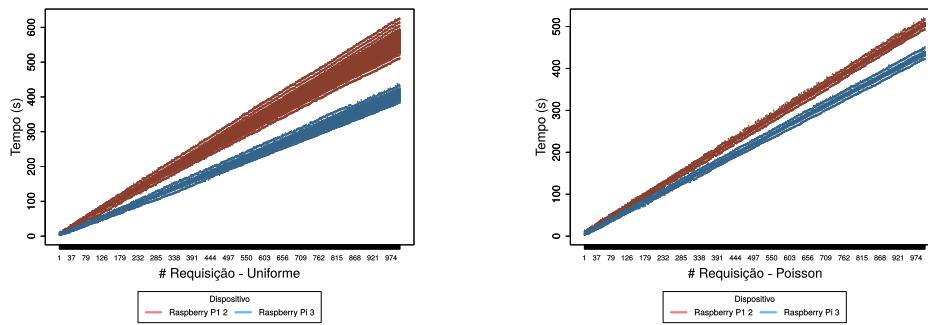
Os resultados obtidos por meio da avaliação de desempenho são apresentados a seguir. Um ponto importante a ser ressaltado é que o *Raspberry Pi 1 (single-core)* foi desconsiderado nesta avaliação comparativa, devido a ocorrência de falhas no atendimento das requisições ( $\pm 3\%$  das requisições), o que tornaria injusta a sua comparação com o *Raspberry Pi 2 e 3 (quad-core)*. Verificou-se, portanto, que o *Raspberry Pi 1* apresenta configurações de *hardware* insuficientes para execução do *GSN*. A Figura 2 retrata o teste realizado com um conjunto de 10 requisições. Observa-se que os tempos de resposta são muito próximos, sendo que, em alguns casos, ocorre a intersecção entre os valores obtidos. Em todas situações, o desempenho do *Raspberry Pi 3* foi visivelmente superior. Os resultados apresentados nas Figuras 3 e 4 (100 e 1.000 requisições) ilustram um comportamento linear, com tendência de afastamento das retas a medida em que o número de requisições aumentam. Além disso, a distância entre as retas é maior na distribuição Uniforme. Este comportamento pode ser observado em todos os resultados apresentados. Ao analisar os resultados obtidos com a aplicação das métricas de avaliação de desempenho, verificou-se que o *Raspberry Pi 3* obteve um melhor desempenho em relação aos demais dispositivos avaliados. Portanto, os resultados obtidos evidenciam a possibilidade de utilização do *GSN* neste tipo de dispositivo, permitindo o seu uso como um nó de processamento de Computação em Névoa (*fog node*). Entretanto, o tempo de resposta com 100 e 1.000 requisições foi significativamente alto o que torna necessário a utilização de múltiplos dispositivos em rede para diminuição do tempo de resposta obtido.



**Figura 2. Carga de Trabalho com 10 Requisições.**



**Figura 3. Carga de Trabalho com 100 Requisições.**



**Figura 4. Carga de Trabalho com 1.000 Requisições.**

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (PROEX-10095318/M), FAPESP (2013/07375-0 e 11/09524-7) e Centro de Ciências Matemáticas Aplicadas a Indústria (CeMEAI). Agradecemos também o Luiz Henrique Nunes pelas suas contribuições neste trabalho.

## Referências

- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15):2787–2805.
- Barros, V. A., Estrella, J. C., Prates, L., and Bruschi, S. M. (2018). An IoT-DaaS approach for the interoperability of heterogeneous sensor data sources. In *21st ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM’18)*, Montreal, Canada.
- Bhuyan, B., Sarma, H. K. D., Sarma, N., Kar, A., and Mall, R. (2010). Quality of service (qos) provisions in wireless sensor networks and related challenges. *Wireless Sensor Network*, 2(11):861.
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., and Addepalli, S. (2012). Fog computing and its role in the internet of things. In *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, pages 13–16. ACM.
- Koreshoff, T. L., Robertson, T., and Leong, T. W. (2013). Internet of things: A review of literature and products. In *Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference: Augmentation, Application, Innovation, Collaboration, OzCHI ’13*, pages 335–344, New York, NY, USA. ACM.
- Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P., Sundmaeker, H., Eisenhauer, M., Moessner, K., Le Gall, F., and Cousin, P. (2013). Internet of things strategic research and innovation agenda. *RIVER PUBLISHERS SERIES IN COMMUNICATIONS*, page 7.