

## Sistema de Monitoramento Avançado para o Gerador de Cargas WAVE

Caio Luiz L. T. Silva (IFPB, Campus João Pessoa), Ícaro Machado da Silva (IFPB, Campus João Pessoa), Paulo Ditarso Maciel Jr. (IFPB, Campus João Pessoa) e Leandro C. de Almeida (IFPB, Campus João Pessoa)

**E-mails:** caio.luz@academico.ifpb.edu.br, icaro.silva@academico.ifpb.edu.br, paulo.maciell@ifpb.edu.br e leandro.almeida@ifpb.edu.br.

**Área de conhecimento (Tabela CNPq):** 1.03.03.04-9 Sistemas de Informação.

**Palavras-Chave:** Redes de computadores; Gerador de Carga; Monitoramento.

### 1 Introdução

No contexto de redes de computadores, experimentos científicos são realizados para avaliar hipóteses, utilizando abordagens como simulação, estudo de caso, validação e prova de conceito. Frequentemente, pesquisadores constroem ambientes de experimentação controlados para representar de forma precisa o objeto de estudo, aplicando carga elevada à rede para analisar a robustez das soluções em cenários de saturação e seu impacto na qualidade de serviço. Essa análise permite que se formulem considerações mais precisas sobre a hipótese proposta, seja para confirmá-la ou refutá-la (FERNANDES, 2017).

Devido à diversidade de características de cargas e tráfegos, pesquisadores costumam restringir o escopo da avaliação em experimentos, recorrendo a geradores de tráfego sintético para simular condições extremas (KUNDEL et al., 2018; FEIBISH et al., 2022). Contudo, tais geradores têm dificuldade em representar fielmente as aplicações reais. Nesse sentido, o WAVE (Workload Assay for Verified Experiments), que foi proposto em um trabalho anterior, se destaca ao gerar carga real controlada no tempo, baseada em um modelo matemático pré-definido (ALMEIDA et al., 2023).

Na versão atual o WAVE suporta modelos de geração de carga *sinusoid*, *flashcrowd* e *step*, com seu código disponível publicamente<sup>1</sup>. Ele já foi utilizado em diversos experimentos com vídeo sob demanda e armazenamento de chave-valor. Apesar dessas contribuições, persistem limitações quanto ao monitoramento em tempo real da infraestrutura de experimentação. Assim, este artigo propõe um sistema avançado de monitoramento em tempo real para a infraestrutura utilizada pelo WAVE.

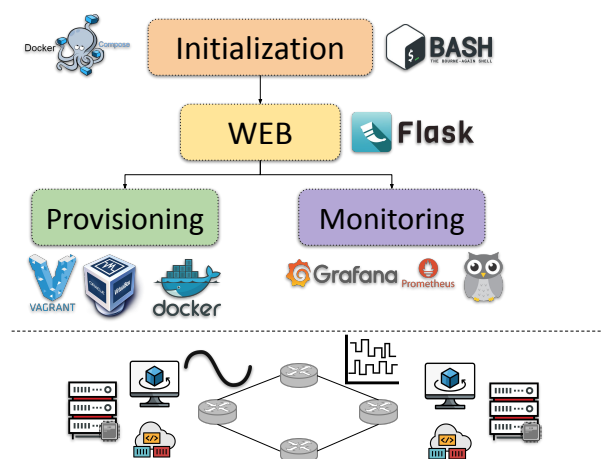


Figura 1: Arquitetura e os componentes tecnológicos do WAVE.

Do ponto de vista arquitetural, o WAVE possui quatro módulos funcionais: Inicialização, Web, Provisionamento e Monitoramento, como pode ser visto na Figura 1. Os dois primeiros módulos, de Inicialização e WAVE Web, compõem o *frontend*; ou seja, são os componentes com os quais o pesquisador interage. Em contraste,

<sup>1</sup><[https://github.com/ifpb/new\\_wave](https://github.com/ifpb/new_wave)>

os módulos de Provisionamento e Monitoramento estão posicionados no *backend*; ou seja, são executados sem intervenção direta do pesquisador. Eles são iniciados pelo módulo Web do *frontend*, com base nos parâmetros introduzidos pelo pesquisador.

Neste trabalho, o foco se dará ao módulo de monitoramento, o qual tem a responsabilidade de realizar medições e disponibilizar em um *dashboard* gráfico o estado da infraestrutura de experimentação. Em sua versão inicial (ALMEIDA et al., 2023), o WAVE operava exclusivamente com máquinas virtuais (VMs), utilizando um mecanismo (*node exporter*) para coletar as métricas de desempenho. Contudo, em sua versão mais recente (BEUTTENMULLER et al., 2025), o suporte a contêineres foi adicionado. Esta nova realidade trouxe alguns desafios relacionados à coleta e exposição das medições para o módulo de monitoramento. Neste sentido, foi necessário desenvolver novos ajustes e incorporá-los ao módulo de monitoramento. Estes ajustes foram desenvolvidos a partir do projeto cAdvisor<sup>2</sup>, o qual foi adaptado para executar dentro da arquitetura do WAVE.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. Na Seção 2 estão descritos os materiais e métodos utilizados. Os resultados obtidos a partir de uma experimentação estão demonstrados na Seção 3. Por fim, na Seção 4 temos as considerações finais.

## 2 Materiais e Métodos

Como dito anteriormente, a arquitetura do WAVE precisou ser adaptada para possibilitar a captura eficiente de métricas de desempenho para ambientes containerizados. Para superar essa limitação, implementou-se o cAdvisor como componente central da solução de monitoramento para contêineres. Este agente é implantado como um contêiner isolado, iniciado e finalizado de forma síncrona aos ciclos de vida dos contêineres experimentais. Quando o pesquisador seleciona o modo de execução baseado em contêineres, o cAdvisor é automaticamente provisionado, coletando e exportando métricas em tempo real para o Prometheus.

O sistema estabelece uma lógica de alternância dinâmica nas fontes de dados: o Grafana consome métricas provenientes do cAdvisor para experimentos em contêineres e mantém a utilização do mecanismo *node\_exporter* para cenários com VMs. Essa dupla capacidade garantiu compatibilidade com implantações antigas do WAVE.

O módulo atualizado demonstrou robustez operacional durante experimentos de longa duração e alta carga, capturando e exibindo métricas de desempenho sem interrupções. A transição transparente entre fontes de métricas conforme o modo de execução atestou a escalabilidade da solução implementada.

## 3 Resultados e Discussão

A implementação do módulo de monitoramento é baseada em três componentes tecnológicos principais: Prometheus, Grafana e cAdvisor. O cAdvisor atua como agente de coleta, extraindo, processando e exportando informações detalhadas sobre contêineres individuais ou agrupados. Especificamente, ele captura parâmetros de isolamento de recursos, histórico de consumo, histogramas completos de utilização e estatísticas de rede para cada unidade containerizada.

O Prometheus opera como sistema de armazenamento temporal, registrando e persistindo as métricas em série temporal coletadas pelo cAdvisor. As métricas monitoradas foram: uso de CPU e memória do sistema host, número de instâncias da carga e tráfego de rede do cliente e do servidor. O monitoramento das instâncias e do tráfego visa analisar o desempenho da rede conforme a carga, enquanto o uso de CPU e memória busca identificar possíveis gargalos que afetem esse tráfego.

Por fim, o Grafana integra-se ao banco de dados do Prometheus para gerar visualizações analíticas através de painéis dinâmicos. Os gráficos produzidos são subseqüentemente exportados e incorporados à interface do

<sup>2</sup>Disponível em: <https://github.com/google/cadvisor>

WAVE Web, possibilitando a análise consolidada do desempenho do ambiente. Na Fig. 2 tem-se uma disposição visual do módulo de monitoramento apresentando as medições coletadas em tempo real pelo componente cAdvisor adaptado para o WAVE.

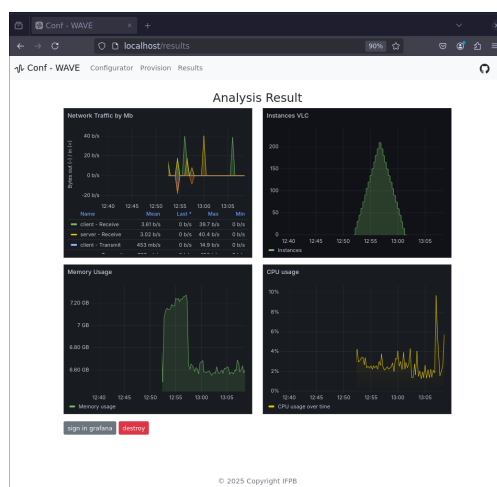


Figura 2: Módulo de monitoramento exibindo uso de recursos.

#### 4 Considerações Finais

A evolução do módulo de monitoramento do WAVE para ambientes híbridos - suportando máquinas virtuais e contêineres - comprova a viabilidade técnica de integrar soluções complementares de coleta métrica em sistemas experimentais dinâmicos. A implementação do cAdvisor sincronizado com o ciclo de vida dos contêineres superou a limitação original do sistema que dependia exclusivamente do mecanismo `node_exporter` e era incapaz de capturar métricas nativas de ambientes containerizados. Esta adaptação permitiu alcançar unificação arquitetural através da alternância transparente entre fontes de dados conforme o modo de execução, mantendo inalterada a camada de visualização.

Como trabalhos futuros, espera-se que o módulo de monitoramento do WAVE seja capaz de se adaptar dinamicamente ao ambiente de experimentação utilizado. Neste caso, avanços em direção ao *auto-scaling* (escalonamento automático) serão necessários.

#### Referências

ALMEIDA, L. et al. WAVE - Um gerador de cargas múltiplas para experimentação em redes de computadores. In: *Anais Estendidos do 41º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. Brasil: SBC, 2023. p. 9–16. ISSN 2177-9384.

BEUTTENMULLER, D. C. et al. A new WAVE: Exploring new load pattern models for experimentation in computer networks. In: . [S.l.: s.n.], 2025.

FEIBISH, S. L. et al. Flow-level loss detection with sketches. In: *Proceedings of the Symposium on SDN Research*. New York, NY, USA: ACM, 2022. (SOSR '22), p. 25–32. ISBN 9781450398923. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3563647.3563653>>.

FERNANDES, S. *Performance Evaluation for Network Services, Systems and Protocols*. [S.l.]: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-54519-6.

KUNDEL, R. et al. P4-CoDel: Active Queue Management in Programmable Data Planes. In: *2018 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–4.