



ESTUDO SOBRE BENCHMARKS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHOS ORIENTADOS A NUVEM

Fernanda Oliveira de Medeiros*¹, Danielle Costa de Oliveira¹

¹IFMG – Instituto Federal de Minas Gerais

Resumo - Com a crescente adoção da computação em nuvem, observa-se um aumento da necessidade de avaliar o desempenho das nuvens. Avaliar esses ambientes é um desafio em aberto, uma vez que diferentemente da computação tradicional, os benchmarks que podem ser usados para avaliação, devem acompanhar os possíveis múltiplos cenários existentes que são configurados dinamicamente, provisionam recursos sob demanda e os liberam com esforço mínimo de gerenciamento. O objetivo deste artigo é apresentar um estudo sobre benchmark para nuvem e que discute os desafios sobre o seu uso e formulação. O estudo é o resultado parcial de um projeto pesquisa em andamento que visa a criação de um portfólio dos benchmarks típicos para as nuvens.

Palavras-Chave - Benchmark; Computação em Nuvem; Métricas.

BENCHMARKS STUDY FOR THE EVALUATION OF CLOUD-PERFORMANCE

Abstract - With the cloud computing growth, there is an increasing need to evaluate clouds performance. Assessing these environments is an open challenge, unlike traditional computing, benchmarks that can be used for evaluation, must follow the possible multiple existing scenarios that are dynamically configured, provision resources on demand and release them with minimal management effort. The purpose of this article is to present a study on the benchmark for the cloud, which discusses the challenges regarding its use and formulation. The study is the partial result of an ongoing research project that aims to create a portfolio of typical clouds benchmarks.

Keywords - Benchmark; Cloud computing; Metrics.

I. INTRODUÇÃO

A Computação em Nuvem (CN) é um tópico amplamente discutido na atualidade. As pesquisas sobre o assunto são recentes, a maioria realizada na última década, o que categoriza a tecnologia como um paradigma em evolução. Em

[1] há a definição da Computação em Nuvem como um modelo computacional para acesso conveniente, sob demanda e de qualquer localização, a uma rede compartilhada de recursos computacionais (redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que possam ser prontamente disponibilizados e acessados com um esforço mínimo de gestão ou de interação com o provedor de serviços.

O modelo de computação em nuvem é constituído de três modelos de serviço (*IaaS - Infrastructure as a Service, PaaS - Platform as a Service, SaaS - Software as a Service*) e quatro modelos de negócios (nuvem privada, pública, comunitária e híbrida) [1].

Basicamente, esse novo paradigma engloba ambientes que possuem recursos de hardware, plataformas de desenvolvimento e/ou serviços que podem ser acessados virtualmente para facilitar a utilização por parte do usuário. De acordo com [2], esses recursos, devido à virtualização, podem ser reconfigurados dinamicamente de modo a se ajustar a necessidade específica de cada utilizador. Com isso, os custos de software e principalmente de hardware podem ser consideravelmente reduzidos.

Para a avaliação dos recursos de uma nuvem, geralmente, as grandes empresas disponibilizam resultados aos seus clientes em forma de benchmarks, para que possam escolher uma estrutura que melhor os atende. Existem também organizações que trabalham com objetivo de oferecer benchmarks para desenvolvedores, bem como pesquisadores que os abordam a fim de validar estudos.

Um benchmark é um programa que gera uma carga de trabalho bem conhecida no sistema sob teste e permite que um especialista efetue a medição e construa um conjunto de índices de desempenho predefinidos. Formalmente, [3] define o termo benchmark como uma ferramenta padrão para a avaliação e comparação de sistemas concorrentes e seus componentes de acordo com características específicas de um domínio.

O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre benchmarks para computação na nuvem o qual vislumbra como resultado, impulsionar a área acadêmica para novas pesquisas sobre avaliação de desempenho em nuvem.

O estudo baseou-se, principalmente, em revisões bibliográficas a partir de livros, artigos, websites, bem como notícias oficiais das empresas de nuvem. Desta forma, as

*medeiros0f@gmail.com

informações coletadas foram analisadas e um panorama sobre benchmarks para nuvem foi montado, junto aos seus principais requisitos e desafios.

Além desta primeira seção, este artigo está organizado em outras três da seguinte forma: na seção 2, é apresentada uma síntese do estudo. Na seção 3 são mostradas, dentro de uma revisão da literatura, as investigações acerca de benchmarks para nuvem, bem como discute os desafios para sua formulação. E, finalmente, na seção 4 são apresentadas as conclusões do estudo.

II. SÍNTESE DO ESTUDO

Dada a relevância do estudo sobre benchmarks para avaliação de desempenhos orientados a nuvem, o estado da arte abrange as pesquisas que vão desde a teoria de base para compreensão sobre benchmark e as características determinantes para expressar o comportamento de um sistema avaliado, até a descoberta dos fatores que podem viabilizar ou não uma solução de benchmark. Para se ter um público-alvo forte, um benchmark deve abordar os *stakeholders* apropriados. Assim, a identificação dos principais interessados em benchmarks na nuvem, são apresentados conforme orientação ao negócio. Ao relatar as diferentes técnicas abordadas, pretendeu-se também demonstrar quais observações ainda devem ser realizadas para viabilizar a utilização de benchmarks para nuvem. As situações de adoção dos benchmarks em testes de caixa branca e teste de caixa elucidam por quem e como normalmente são disponibilizados os benchmarks. Ainda no contexto dos testes, os principais indicadores empregados em benchmarks, as métricas, são sublinhadas, exemplificadas e comentadas a luz de sua importância e/ou dificuldade de obtenção. A partir da compreensão do processo de escolha de um benchmark representativo para lidar adequadamente com as variações dos recursos em nuvem, os principais dificultadores puderam ser destacados.

III. ESTADO DA ARTE

Esta seção descreve uma visão geral sobre benchmarks para nuvem. Serão discutidos seus objetivos e os principais desafios sobre seu uso e formulação.

A. Benchmark para nuvem

O termo benchmark (BM) está associado a várias áreas de conhecimento e na computação ele pode ser definido como um programa que deve ser executado a fim de avaliar o desempenho de um objeto que pode ser tanto um computador, como também componentes, serviços ou recursos computacionais [4].

Programas de benchmark, ou benchmarkings (BMs), devem ter propriedades que permitam que se conclua seguramente acerca do desempenho dos objetos avaliados. Isso é possível através da definição de regras sobre a criação de um cenário de execução e de como os resultados devem ser obtidos (escolha de critérios e/ou métricas para avaliação). Em outras palavras, benchmarkings devem ser capazes de criar um cenário adequado que representa o comportamento esperado do sistema que está sendo avaliado. [18] observa ainda que a

chave para o sucesso de um benchmarking é a identificação dos objetivos da análise de desempenho.

Para atingir esse objetivo de maneira considerada útil e satisfatória [4], [5] e [16] pontuam quatro características desejáveis:

- **Relevância:** o BM deve se concentrar nas respostas típicas e representativas as operações do domínio do problema;
- **Repetitividade:** deve haver confiança de que o BM pode ser executado mais de uma vez e entregar resultados semelhantes;
- **Econômico:** os custos gerados pela execução de um BM devem ser acessíveis. Nesse sentido, pode ser de grande importância para concluir sobre o desempenho de um dado benchmark e determinar se sua utilização é viável ou não;
- **Segurança:** deve haver confiança de que o resultado do BM não é adulterado e que esses de fato representam o sistema, ou seja, o resultado deve ser verdadeiro e significativo.

No contexto da CN, as cargas de trabalho do BM representam o conjunto típico de aplicativos com maior probabilidade de execução em um ambiente de nuvem por exemplo, infraestrutura de negócios, OLTP (*Online Transaction Processing*), análise de dados e serviços de software selecionados, como banco de dados e arquivos.

O desenvolvimento e uso de benchmark é especialmente importante para os *Cloud-Providers* (provedores de nuvens) interessados em avaliar os resultados de hardware, software e rede dos produtos que eles oferecem, e como esses componentes suportam e se comportam oferecendo um serviço. Para os *Hardware and Software Vendors* (vendedores de produtos de hardware e software), que comercializam hardwares de computadores, *blades* ou servidores, software para virtualização, gerenciamento, automação - produtos usados na construção de *datacenters* para nuvem. E para os *End-Consumers* (usuários finais) que podem usar os benchmarks de nuvem para ajudar a selecionar um *Cloud-Provider*.

B. Abordagens usadas em Benchmarks para Nuvem

Segundo [6] e [20] existem várias abordagens usadas em um benchmark e que podem ser agrupadas em três grupos, seja baseado em medidas para avaliação, modelagem com simulação ou modelagem analítica.

- **Baseado em medidas:** um sistema para nuvem requer uma extensa experimentação com diferentes cargas de trabalho e configurações, o que pode não ser viável devido ao tamanho da rede, tempo e orçamento demandados em uma nuvem.
- **Modelagem com simulação:** útil para a CN, porém, o tempo para se obter resultados confiáveis também pode ser dispendioso, uma vez que o modelo precisa ser executado várias vezes para obter um resultado médio. Além disso, para considerar o impacto de qualquer modificação em cada parâmetro de entrada, são necessárias execuções separadas do modelo de simulação, o que torna os tempos de execução mais severos.
- **Modelos analíticos:** auxiliam provedores a avaliar o consumo de energia e medidas relacionadas ao desempenho

em diferentes situações, mas também pode ser útil em termos de orçamento e restrições de tempo. Entretanto, a grande variabilidade de fatores, inerentes da CN, podem tornar a avaliação complexa.

C. Adoção de Benchmarks para Nuvem

A necessidade de adoção de benchmarks para nuvem se divide em duas grandes categorias que se referem às potencialidades de testes que podem ser realizados [7]:

1) *White Box benchmark*

Publicado por um ou mais fornecedores e usado por provedores de nuvem para determinar o conjunto certo de produtos de hardware e software a serem implantados em suas nuvens. Os provedores de nuvem também podem publicar os resultados dos componentes de hardware e software usados em suas nuvens. No contexto de caixa branca as especificações exatas são conhecidas e estão sob o controle do testador. Os resultados de BM permitem comparações com resultados semelhantes de BM existentes. Neste caso, um benchmarking deve oferecer soluções para uma comparação clara de diferentes serviços nas mesmas condições de execução.

2) *Black Box benchmark*

Publicado por provedores de nuvem e usado pelos consumidores finais para determinar o provedor de serviços de nuvem apropriado para suas necessidades de aplicativos. No contexto de caixa preta, o provedor de nuvem fornece uma especificação geral, geralmente em termos de como o consumidor final pode ser cobrado. Por exemplo, um usuário final de uma nuvem pode alugar uma plataforma de nuvem com a descrição de "duas unidades de computação". Assim, existe uma incompletude nos dados fornecidos ao usuário, que poderão atrapalhar a execução do BM que requer informações adicionais, como por exemplo, o número de CPU's e o horário, local em que as medidas foram coletadas, ou alterações dinâmicas no sistema de teste durante o período de coleta.

Um exemplo da necessidade de adoção de um BM pode ser dado quanto aqueles que avaliam a capacidade de isolamento de desempenho em uma nuvem. Em seu trabalho, [8] observou que o compartilhamento de recursos leva a uma possível interferência entre usuários e problemas de desempenho; ou seja, o número de acesso de usuários simultâneos a nuvem pode afetar na sua capacidade de tempo de resposta ou capacidade de processamento. Evitar tais perturbações é um dos principais objetivos dos provedores - que o desempenho de sua nuvem seja independente para diferentes usuários.

Para fazer diferentes ofertas, comparável em relação às suas capacidades de isolamento de desempenho, uma métrica é necessária para quantificar o nível de isolamento de desempenho em ambientes de nuvem. Uma métrica deve permitir medir externamente executando benchmarks do lado de fora, tratando a nuvem como uma caixa preta.

Um outro exemplo é a necessidade de avaliar a possibilidade de otimização do consumo de energia em um sistema em nuvem. O consumo de energia é de extrema importância em ambientes de *datacenters* corporativos, uma vez que afeta diretamente tanto a capacidade máxima de

fornecimento de energia, quanto custos com fonte de alimentação e refrigeração [6].

D. Métricas de benchmarks

Uma métrica é uma função que transforma os resultados medidos em uma forma que é facilmente compreendida pelo analista. As métricas de um benchmark são usadas como critérios de medição para os testes de referência. Elas podem ser identificadas como os principais indicadores de desempenho para a maioria das cargas de trabalho em um ambiente na nuvem [17].

Devido à amplitude das implementações na nuvem, nem todas as métricas são aplicáveis a cada referência. Por exemplo, se o consumidor final testa uma nuvem pública, as métricas de densidade e potência normalmente não são mensuráveis.

A seguir são compiladas as principais métricas mais abordadas em benchmarking:

1) *Elasticidade*

Na nuvem os recursos podem ser provisionados e removidos de forma elástica, e em alguns casos, automaticamente, a fim de cumprir o objetivo de escalar o sistema dinamicamente conforme a demanda. Assim, a elasticidade é uma das principais características desse tipo de sistema, pois, quanto mais rápida for a elasticidade de uma nuvem, mais idealização de recursos ilimitados ela transmitirá ao usuário [9]. Benchmarks com foco em elasticidade podem ser vistos em [20] e [21].

2) *Taxa de Transferência*

Também conhecida como *throughput* e largura de banda é tratada como a medida o desempenho das tarefas por um serviço ou dispositivo de computação durante um período específico. Em sistemas de processamento de transações, normalmente é medido como transações por segundo (MFLOPS). Para sistemas que processam dados em massa, como servidores, ele é medido como uma taxa de dados, por exemplo, megabytes por segundo (MOPS) [10]. É importante para garantir que todos os aplicativos sejam executados com eficiência ideal. Existem aplicativos nos quais a taxa de transferência é um fator crítico, entre eles qualquer sistema que envolva dados de vídeo (streaming), dados científicos, dados sendo transmitidos por dispositivos de Internet das Coisas ou sistemas de *big data* em tempo real [11]. Um exemplo de benchmark que emprega essa métrica pode ser visto em [22].

3) *Capacidade de processamento*

A capacidade é importante para equilibrar oferta e demanda. Este indicador pode ser muito útil, pois, assim pode ser definido quanto de memória ou CPU devem estar minimamente disponibilizadas no sistema. De acordo com [12], as métricas de capacidade são tipicamente escalares, e representam a quantidade de trabalho que um sistema pode responder de forma sustentável. Um exemplo que pode ser dado é comparar o número de usuários virtuais simultâneos com os quais uma quantidade fixa de recursos da nuvem pode lidar sem violações de objetivos do nível do serviço (*Service-Level Objective-SLO*), dado um perfil de

uso. [23] descreve um exemplo de benchmark que emprega a métrica de capacidade de processamento.

4) *Confiabilidade e Segurança*

A computação em nuvem facilita e reduz os custos de backup de dados, recuperação de desastre e continuidade dos negócios, já que os dados podem ser espelhados em diversos sites redundantes na rede do provedor em nuvem, como aponta o relatório da [13]. Existem diferentes maneiras de medir a capacidade de redundância da rede, sendo a principal delas a avaliação da sobrecarga de transferência de dados, através da rede, avaliando se existe perda de dados. Quanto à segurança, o mesmo relatório aponta que muitos provedores em nuvem oferecem um amplo conjunto de políticas, tecnologias e controles que fortalecem sua postura geral de segurança, ajudando a proteger os dados, os aplicativos e a infraestrutura contra possíveis ameaças. A avaliação pode ser feita de maneira semelhante à métrica de confiabilidade, dessa vez avaliando se pode existir interferência na transmissão de dados na rede, como no BM [24].

5) *Escalabilidade*

As métricas de escalabilidade caracterizam o quanto mais carga um sistema pode suportar depois que os recursos forem alocados. Para sistemas escaláveis, a inclinação da carga aumenta linearmente com o aumento da quantidade de recursos, enquanto sistemas que não escalam bem, essa curva de linha se achata e pode até começar a cair [12]. O BM [25] e o [26] avaliam essa métrica.

6) *Desempenho*

Quando se observa o desempenho em um nível puramente computacional, ou seja, desempenho sobre CPU e RAM, as diferenças de desempenho entre as nuvens não são tão grandes. No entanto, existem alguns fatores que podem causar as diferenças reais. o maior fator que afeta o desempenho computacional na nuvem é a contenção. Nuvens públicas são ambientes multilocatários. RAM e armazenamento não podem ser superalocados (embora possam ser vendidos em excesso), mas a CPU pode e é. Os níveis de contenção variam consideravelmente, mas essencialmente os fornecedores de nuvem pública são capazes de vender a capacidade da CPU de um host físico em mais de 100%. As taxas de contenção afetarão diretamente os benchmarks de desempenho dos servidores em nuvem e o uso real. A tecnologia tem avançado significativamente no campo da virtualização no que diz respeito ao uso de CPU e RAM. Uma única máquina física pode ser virtualizada e ter vários servidores em nuvem com perda mínima de desempenho agregado total. Mas, na maioria dos casos, o desempenho dos servidores virtuais na nuvem é determinado pelo desempenho da solução de armazenamento da nuvem [14]. Quaisquer que sejam os resultados que os benchmarks podem produzir para tarefas puramente computacionais, a realidade é que a velocidade com que o servidor virtual pode recuperar e gravar dados em discos de armazenamento físico determinará o desempenho real de um servidor em nuvem.

7) *Preço*

Calcular o retorno do investimento (*Return on Investment- ROI*) em nuvem é um grande desafio, já que entre os seus vários benefícios muitos são intangíveis, ou seja, não podem ser traduzidos em números. De todo modo, há alguns parâmetros bastante palpáveis, como a economia de custos com hardware, equipe de manutenção, assim como nas atualizações contínuas de softwares. Existem benchmarks, principalmente os fornecidos pelas empresas, que calculam o preço de determinada execução de sistema em uma nuvem, proporcionando, por exemplo, dados ao interessado para comparar com o custo de infraestrutura necessária para execução do mesmo em outro ambiente [15]. Para o cliente da nuvem a escolha da infraestrutura influencia sobremaneira no custo. Quando uma carga em qualquer máquina física atinge mais de um núcleo, as tarefas computacionais vão sendo enfileiradas e o tempo necessário para que a máquina virtual conclua o trabalho será maior. Dado que a maioria das nuvens cobra com base na capacidade/hora, isso tem um impacto direto no custo para os clientes [14].

Em [19] é revelado que o benefício real da computação em nuvem é a agilidade, a escalabilidade e a garantia de disponibilidade dos sistemas e que daí está a importância de medir não somente o desempenho das capacidades de uma nuvem, mas também como as cargas de trabalho típicas de aplicativos se comportam conforme os recursos subjacentes da nuvem são expandidos e se aproximam da capacidade total. Desta maneira, seria possível garantir que as operações ocorram com a qualidade necessária e que novas oportunidades de melhorias sejam descobertas.

E. Desafios

[4] elucida que a ideia de BM na nuvem pode esbarrar em várias questões que atenuam a complexidade do seu desenvolvimento, como a limitação inerente às individualidades dos modelos de serviços, uma vez que as métricas tendem a se comportar de maneira diferente para cada um.

Outro ponto e talvez o mais desafiador é que BMs tradicionais geralmente dependem de hardware e software conhecidos. Em outras palavras, eles têm um conhecimento da configuração do sistema que permite que as principais características sejam mais facilmente alcançadas. A obtenção desses dados então dependerá do nível de acesso fornecido pela nuvem, que geralmente é baixo para o usuário, independentemente do modelo de serviço. Assim, ele não tem certeza de quantas unidades computacionais de hardware e software realmente foram executadas para comparar o resultado do BM.

Além disso, como os serviços são fornecidos sob demanda, os recursos podem ser alocados a qualquer momento, existindo a necessidade de configurar os ambientes, e até os BMs, constantemente.

Considerando as métricas, observa-se que algumas ainda são tidas como impraticáveis ou variáveis demais para serem medidas. A natureza da nuvem torna essas métricas, embora relevantes, difíceis de medir no contexto do benchmarking. Algumas métricas também não representam números de engenharia que podem ser quantificáveis.

[4] destaca ainda que para a popularização desse tipo de programa e a dissolução dos problemas pontuados anteriormente, dois principais desafios devem ser superados:

- Ser econômico - Em ambientes de nuvem, o consumidor paga pelos recursos computacionais e parte desses recursos deve ser alocado especificamente para benchmarking. Portanto, executar benchmarks consumiria recursos e isso implica em mais custos para os consumidores da nuvem;

- Ser seguro - Como provedores de nuvem podem ser propensos a alterar os resultados para obter mais lucro ou criar uma imagem falsa de qualidade. A confiança no benchmarking levanta uma questão importante: os provedores podem ter não apenas a motivação, mas também as ferramentas para manipular a informação, uma vez que eles controlam a infraestrutura e podem esconder informação (não expondo todas as propriedades para benchmarking), tornando a tarefa de adulteração dos resultados mais fácil e a tarefa de criar benchmarks mais difícil.

IV. CONCLUSÕES

O benchmarking desempenha um papel importante na ampla adoção de tecnologias de computação em nuvem e por isso o referencial teórico apresentado, reforça o estado da arte sobre computação em nuvem, elucidando o conceito de benchmark. Com isso, foi possível introduzir as características para os benchmarks relacionados ao paradigma bem como, a cada abordagem, delinear os desafios de construí-los o que sintetiza o alcance do objetivo principal proposto no presente trabalho.

O estudo apresentado neste artigo é o resultado parcial de um projeto de pesquisa mais amplo, o qual a partir de uma RSL primária (Revisão Sistemática da Literatura) se busca criar um portfólio com as principais características dos benchmarks e as métricas associadas para avaliar nuvens.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a todos os integrantes do Grupo de Pesquisa CNPq, GSE (Grupo de Soluções em Engenharia), pela interação e colaboração.

REFERÊNCIAS

- [1] National Institute Standards and Technology (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. Acedido em 24 de novembro de 2019, em: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-145/final>.
- [2] Vaquero, L. M.; Merino-Rodero, L.; Caceres, J.; Lindner, M. *A Break in the Clouds: Towards a Cloud Definition*. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2009.
- [3] Kistowski V. J.; *How to Build a Benchmark*. University of Würzburg. Alemanha 2015.
- [4] Harb, J. G. D. *Performance Evaluation of an Uncheatable Benchmark for Cloud Systems*. 2014. 67 f. Monografia (Graduação). Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

- [5] Cerveira, F. *Benchmarking de Infraestruturas de Virtualização para a Cloud*. 2015. Coimbra, Portugal, 2015.
- [6] Enterazi-Maleki, R.; Sousa, L.; Movaghar, A. *Performance and Power Modeling and Evaluation of Virtualized Servers in IaaS Clouds*. Information Sciences, An International Journal, 2017.
- [7] Iosup, Alexandru & Prodan, Radu & Epema, D. (2012). *IaaS Cloud Benchmarking: Approaches, Challenges, and Experience*. 10.1007/978-1-4939-1905-5_4.
- [8] Krebs L. M.; Laipelt R. C. *Teorias da linguística cognitiva para pensar a categorização no âmbito da Ciência da Informação*. *Transinformação*, n. 1, v. 30, p. 81-93, Brasil, 2018.
- [9] Souza N. J.; Coutinho F. E.; Sousa R. C. F.; Gomes G. D. *Elasticidade em Computação na Nuvem: Uma Abordagem Sistemática*. Brasil. 2012.
- [10] Atas, G.; Gungor, V. C. *Performance evaluation of cloud computing platforms using statistical methods*. Computers and Electrical Engineering, Turkey, v. 40, n. 5, p. 1636-1649, 2014.
- [11] Okada, K. T. *Avaliação do impacto da comunicação intra e entre-nós em nuvens computacionais para aplicações de alto desempenho*. 2016. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- [12] Lehriga S.; Sandersb R.; Brataasb G. *CloudStore - towards versatility, flexibility, and effectiveness benchmarking and investigation in Cloud registering*. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 2015.
- [13] Azure Microsoft. Acedido em 24 de novembro de 2019, em: <https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-cloud-computing/#benefits>
- [14] Baillie, P; *Benchmarking cloud servers: A Cloud Computing Insider's Guide*. 2020. Acedido em 24 de novembro de 2019, em: <https://www.cloudsigma.com/benchmarking-cloud-servers-a-cloud-computing-insiders-guide/>
- [15] PMG Academy. *Como Calcular o ROI da Nuvem*. Acedido em 29 de novembro de 2019, em: <https://www.pmgacademy.com/como-calcular-o-roi-da-nuvem/>
- [16] Huppler, K.: *The art of building a good benchmark*. In Nambiar, R.O., Poess, M., eds.: TPCTC. v. 5895 of Lecture Notes in Computer Science., Springer (2009) 18–30
- [17] Folkerts E., Alexandrov A., Sachs K., Iosup A., Markl V., Tosun C. (2013) *Benchmarking in the Cloud: What It Should, Can, and Cannot Be*. In: Nambiar R., Poess M. (eds) Selected Topics in Performance Evaluation and Benchmarking. TPCTC 2012. Lecture Notes in Computer Science, v. 7755. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [18] Ficco, M. & Rak, Massimiliano & Venticinque, Salvatore & Tasquier, Luca & Aversano, Giuseppe. (2015). *Cloud Evaluation: Benchmarking and Monitoring*.

- [19] SPEC Cloud. *Benchmark Overview*. Acedido em 18 de novembro de 2019, em: https://www.spec.org/cloud_iaas2018/docs/faq.html
- [20] Rodrigo Felix de Almeida, (2013). *Benchxtend: A tool to measure the elasticity of cloud database systems*.
- [21] Marta Beltrán (2016). *BECloud: A new approach to analyse elasticity enablers of cloud services*. Science Direct.
- [22] Apache documentation. *Apache HTTP server benchmarking tool*. Acedido em 24 de agosto de 2020, em: <https://httpd.apache.org/docs/2.4/programs/ab.html>
- [23] ArmKeil. *Whetstones*. Acedido em 24 de agosto de 2020, em: <https://www.keil.com/benchmarks/whetstone.asp>
- [24] *Netperf – Networking Benchmark Software*, Acedido em 24 de agosto de 2020, em: <https://www.linuxlinks.com/netperf/>
- [25] Lehriga, S.; Sanders, R.; Brataa, G.; Cecowski, M.; Ivansek, S.; Polutnit, J. *CloudStore - towards scalability, elasticity, and efficiency benchmarking and analysis in Cloud computing*. v.78. 2018. ScienceDirect.
- [26] Shaikha R.; Sasikumar, Dr. M. 2015. *Trust Model for Measuring Security Strength of Cloud Computing Service*. India, Procedia Computer Science, v. 45, p. 380 - 389.