



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

José de Arimateia Morais Filho

ESTADO DA ARTE SOBRE BENCHMARKS PARA SISTEMAS DE BANCOS DE DADOS NOSQL

CAMPINA GRANDE - PB

2023

José de Arimateia Morais Filho

**ESTADO DA ARTE SOBRE BENCHMARKS PARA SISTEMAS DE BANCOS DE DADOS
NoSQL**

Trabalho de Conclusão Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Ciência da Computação do Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador : Carlos Eduardo Santos Pires

CAMPINA GRANDE - PB

2023

José de Arimateia Morais Filho

**ESTADO DA ARTE SOBRE BENCHMARKS PARA SISTEMAS DE BANCOS DE DADOS
NoSQL**

Trabalho de Conclusão Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Ciência da Computação do Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

BANCA EXAMINADORA:

**Carlos Eduardo Santos Pires
Orientador – UASC/CEEI/UFCG**

**Marcos Salerno de Aquino
Examinador – UASC/CEEI/UFCG**

**Francisco Vilar Brasileiro
Professor da Disciplina TCC – UASC/CEEI/UFCG**

Trabalho aprovado em: 17 de Novembro de 2023.

CAMPINA GRANDE - PB

RESUMO

Com a crescente utilização dos sistemas de bancos de dados NoSQL, se tornou relevante estabelecer um comparativo de desempenho entre eles. Entretanto, dadas as diferenças que esses sistemas possuem em relação aos modelos de dados, torna-se difícil fazer comparações entre tecnologias de diferentes famílias de banco de dados. Portanto, é importante encontrar ferramentas que possam fazer essa análise e trazer resultados relevantes. Esse artigo apresenta um levantamento dos principais benchmarks existentes para avaliar sistemas de bancos de dados NoSQL. Percebe-se que há vários benchmarks específicos para uma determinada categoria, mas os benchmarks que comparam tecnologias de diferentes tipos são mais escassos e se limitam a avaliar operações básicas sobre as bases de dados.

State-of-the-Art Benchmarks for NoSQL Database Systems

ABSTRACT

With the increasing use of NoSQL databases, it has become relevant to establish a comparison of performance between them. However, given the differences that these systems have in relation to data models, it becomes difficult to make comparisons between technologies from different families database. Therefore, it is important to find tools that can make this analysis and bring relevant results. This Article presents a survey of the main benchmarks to evaluate NoSQL database systems. It can be seen that there are several specific benchmarks for a category, but the benchmarks that compare Technologies of different types are scarcer and are limited to evaluate basic operations on the databases.

Estado da Arte sobre Benchmarks para Sistemas de Banco de Dados NoSQL

José de Arimateia Morais Filho
jose.arimateia.filho@ccc.ufcg.edu.br

Unidade Acadêmica de Sistema e Computação
Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande, Paraíba, Brasil

Orientador: Carlos Eduardo Santos Pires
cesp@dsc.ufcg.edu.br

Unidade Acadêmica de Sistemas e Computação
Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande, Paraíba, Brasil

RESUMO

Com a crescente utilização dos sistemas de bancos de dados NoSQL, se tornou relevante estabelecer um comparativo de desempenho entre eles. Entretanto, dadas as diferenças que esses sistemas possuem em relação aos modelos de dados, torna-se difícil fazer comparações entre tecnologias de diferentes famílias de banco de dados. Portanto, é importante encontrar ferramentas que possam fazer essa análise e trazer resultados relevantes. Esse artigo apresenta um levantamento dos principais benchmarks existentes para avaliar sistemas de bancos de dados NoSQL. Percebe-se que há vários benchmarks específicos para uma determinada categoria, mas os benchmarks que comparam tecnologias de diferentes tipos são mais escassos e se limitam a avaliar operações básicas sobre as bases de dados.

Palavras-chave:

NoSQL, Benchmarks, Comparativo, Dados.

1. INTRODUÇÃO

Ao escolher um sistema de banco de dados, os bancos relacionais (SQL) sempre foram a alternativa padrão. Porém, eles apresentam propriedades e restrições que limitam a sua eficiência ao lidar com um volume de dados cada vez maior, e gerenciar uma grande base de dados relacionais se torna um grande desafio (Moniruzzaman; Hossain, 2013). Além disso, existe uma crescente tendência no mercado na qual os dados gerados que costumavam ser estruturados passaram a ser semi-estruturados, já que as aplicações modernas geram dados em vários formatos diferentes. Sendo assim, os tradicionais bancos de dados relacionais se tornaram uma opção incompatível com a demanda que vem sendo criada.

A indústria de softwares tem buscado novas soluções para melhorar o desempenho ao lidar com o Big Data, que envolve dados que apresentam maior variedade de formatos, gerados em volumes crescentes e em maior velocidade. Nesse sentido, uma dessas soluções são os sistemas de bancos de dados não-relacionais (NoSQL) que passaram a ter um espaço cada vez mais significativo no mercado, tendo em vista que não contam com as mesmas restrições dos bancos de dados relacionais e são uma opção que desfruta de maior adaptabilidade aos dados de diferentes tipos. Uma grande quantidade de tecnologias NoSQL vem surgindo, segundo o site Hosting Data (2023) existem hoje 225 sistemas de bancos de dados NoSQL.

Para Dauvodian, Chem e Liu (2019) Os sistemas de bancos de dados NoSQL são categorizados por seus modelos de dados e podem ser divididos em quatro categorias principais: chave-Valor, orientados a documentos, orientados a

colunas e orientados a grafos.. A principal característica que une os sistemas de bancos de dados dessas quatro categorias é o fato de eles não serem relacionais. No entanto, apesar de serem todos categorizados como NoSQL, são inúmeras as diferenças existentes entre eles.

Dessa forma, de acordo com o Yahoo, dada a grande quantidade de tecnologias e a variedade de características que as diferenciam, torna-se necessário comparar as funcionalidades e desempenho desses bancos de dados. Para tal, são utilizados benchmarks. benchmarks são ferramentas para medir e avaliar o desempenho computacional sob condições de referência, relativas a uma avaliação de referência (Bouckaert et al., 2010). Nesse sentido, em 2010, surgiu a ferramenta de benchmark Yahoo! Cloud Serving Benchmark (YCSB) com o objetivo de realizar a comparação entre bancos de dados desses sistemas, fundamentada nas operações de Create, Read, Update e Delete (CRUD).

Porém, algumas sistemas NoSQL (e.g. Orientados a Grafos) oferecem operações mais avançadas, a exemplo da travessia de grafos. Como resultado, as ferramentas de benchmarking limitadas a operações básicas de bancos de dados podem trazer resultados genéricos e sem profundidade. Por outro lado, as ferramentas podem ser muito especializadas oferecendo recursos para operações mais complexas, e portanto podem se tornar limitadas a apenas algumas categorias de sistemas NoSQL.

Para Reniers, Landuyt, Rafique e Joosen (2017), existem dois tipos de abordagens ao desenvolver uma ferramenta de benchmarking para tecnologias NoSQL. A abordagem genérica, que compara os bancos de dados baseados em funcionalidades comuns a todos eles; por outro lado, não tem acesso a funcionalidades mais aprofundadas dos bancos de dados e podem trazer resultados não relevantes. O maior exemplo dessa abordagem é a ferramenta YCSB. A outra abordagem é a especializada, que são benchmarkings que focam em modelos de dados específicos e podem envolver cargas de trabalho específicas que só fazem sentido em algumas tecnologias NoSQL como, por exemplo, a ferramenta XDBGbench. O contraponto dessa abordagem é que se torna difícil fazer comparações entre categorias diferentes de tecnologias NoSQL.

Motivado pelo que foi exposto, esse artigo tem como objetivo fazer um levantamento do estado da arte sobre as ferramentas de benchmark voltadas para analisar o desempenho de tecnologias NoSQL, a fim de compreender a relevância atual desses instrumentos e a qualidade dos resultados produzidos. A qualidade dos resultados deve ser entendida como a junção de dois fatores: Abrangência da ferramenta e a

profundidade dela. Ferramentas abrangentes são aquelas que comparam diferentes tecnologias NoSQL de diferentes categorias. Profundidade seria o quanto o benchmark busca explorar as especificidades das categorias ao avaliar o desempenho dos sistemas NoSQL.

2. METODOLOGIA

Para desenvolver essa pesquisa foi construído um quadro comparativo com as seguintes informações sobre as ferramentas de benchmarks: a) Nome do benchmark, b) se o benchmark é open source, c) qual a família de bancos de dados NoSQL é o foco do benchmark, d) quais os sistemas NoSQL são atendidos pelo benchmark (por exemplo, MongoDB e DynamoDB), e) O que o benchmark busca avaliar?, f) quais os sistemas operacionais compatíveis, g) seu ano de lançamento, h) se ele foi descontinuado e, por fim, i) a(s) empresa(s) ou pessoa(s) responsáveis pelo desenvolvimento do benchmark.

Para adquirir conhecimento do estado da arte e preencher o quadro construído com as informações necessárias, a pesquisa foi dividida em duas etapas. A primeira etapa consistiu em pesquisar por benchmarks de bancos de dados NoSQL e buscar informações sobre eles, a fim de realizar uma análise preliminar e conhecer suas características. Para realizar a busca, foram utilizadas as ferramentas de busca do Google e o Google Scholar. No Google, buscou-se por “benchmarks for NoSQL”. No Google Scholar, buscou-se por termos que envolviam “benchmark” e “NoSQL”. Foram encontrados artigos que tratavam de ferramentas desenvolvidas para esse fim. Além disso, foi utilizado o chatGPT em busca de benchmarks para sistemas NoSQL. Foram utilizados os seguintes prompts: “give me a list of benchmarking divided by categories of NoSQL”, “tell me the most popular NoSQL benchmarks”, “list me 50 NoSQL benchmarks, ordered by popularity”. Como resposta, obteve-se vários nomes de benchmarks. Para validar, utilizou-se novamente o Google buscando pelo nome dos benchmarks citados na resposta do chatGPT. Alguns dos nomes sugeridos pelo chat GPT não foram encontrados.

Na exploração feita também foram encontrados alguns estudos analisando o desempenho de sistemas de bancos NoSQL que não utilizavam frameworks ou ferramentas de benchmark, mas apenas executavam scripts para mensurar o desempenho dos bancos de dados. Portanto, na lista dos 23 benchmarks encontrados, incluiu-se um repositório que não era exatamente uma ferramenta de benchmark, mas era um conjunto de scripts utilizados para avaliar o desempenho de alguns sistemas NoSQL.

É importante ressaltar que, nessa primeira etapa, foi adquirido conhecimento sobre as ferramentas, pois, ao mesmo tempo em que buscou-se por esses instrumentos, ao ponto em que foram encontrados, procurou-se documentações sobre os mesmos, como artigos e sites.

Na segunda etapa do estudo, para completar as informações restantes do quadro comparativo e buscar uma compreensão mais aprofundada, procurou-se instalar, executar e analisar os benchmarks relacionados na primeira parte da pesquisa. Ao executar os benchmarks, foi possível compreender as situações que eles eram mais úteis e quão amplos eles eram em relação às categorias dos sistemas não-relacionais. Além disso, comparou-se os resultados obtidos ao executar os diferentes benchmarks.

O critério primordial para escolher os benchmarks a serem instalados foi a sua relevância no contexto dos benchmarks de NoSQL, as ferramentas que foram consideradas relevantes para esse estudo, foram as que mais são utilizadas em artigos e

estudos sobre os desempenhos das tecnologias NoSQL. Portanto, os que se apresentavam como mais relevantes foram priorizados nessa etapa e foi dedicado mais tempo para análise. Outro fator considerado foi a abrangência da ferramenta, os benchmarks que atendiam a mais de uma categoria dos bancos de dados NoSQL.

Analisou-se também a possibilidade de instalar ferramentas que possuíam características que os diferenciavam das demais, como, por exemplo, o GeoYCSB, que avalia consultas geoespaciais. Nenhum outro benchmark encontrado tem o mesmo objetivo. Infelizmente, não foi possível ter acesso a essa tecnologia pelo fato de não ser disponibilizado no artigo sobre o GeoYCSB e não ter sido encontrado o seu instalador ou repositório nas pesquisas realizadas.

Não foi possível ter acesso a alguns dos benchmarks selecionados na primeira etapa e, portanto, o conhecimento adquirido sobre eles se limitou à análise teórica realizada na primeira etapa. Além disso, em razão do tempo de pesquisa, algumas ferramentas não puderam ser executadas nesse segundo momento.

Portanto, as informações que constam nesse estudo foram obtidas das duas formas: teórica e prática. Ressalta-se que, de forma teórica, foram estudadas todas as ferramentas que constam neste artigo, incluindo as que por algum dos motivos citados anteriormente não constaram na segunda etapa.

3. Sistemas de Bancos de Dados NoSQL

Antes de falar sobre os benchmarks para tecnologias NoSQL, é necessário discorrer sobre os próprios bancos de dados não relacionais. A AWS (Amazon Web Services) (2023) descreve os sistemas NoSQL como “*bancos de dados que usam uma variedade de modelos de dados para acessar e gerenciar os dados. Esses tipos de banco de dados são otimizados especificamente para aplicativos que exigem grande volume de dados, baixa latência e flexibilidade. Tais requisitos são atendidos mediante o relaxamento de algumas restrições para manter a consistência de dados presentes em outros bancos de dados*”.

Os bancos de dados não relacionais são diferentes uns dos outros, e podem ser divididos em quatro categorias:

a) **Chave-valor:** representam o tipo mais simples de banco de dados NoSQL, onde cada elemento é armazenado como um par chave-valor, composto por um nome de atributo (“chave”) e um valor. (MongoDB, 2023). Alguns exemplos de tecnologias pertencentes a essa categoria são: DynamoDB, Redis e Oracle NoSQL Database.

b) **Baseado em documentos:** Para o Redis (2023), os bancos de dados dessa família armazenam os dados como documentos estruturados e normalmente são armazenados como um arquivo JSON (Notação de objetos JavaScript, e esse tipo de tecnologia é frequentemente usada nos cenários onde os dados são bem diversos entre si e mudam ao longo do tempo. São particularmente populares no desenvolvimento web e aplicativos em tempo real, e sua popularidade nesses casos é atribuída ao fato de lidarem com grandes quantidades de dados. Exemplos desse tipo de banco de dados são o MongoDB e o CouchDB.

c) **Baseado em colunas:** um banco de dados baseado em colunas armazena dados em colunas em vez de linhas. Esses bancos de dados são projetados para oferecer eficiência e velocidade em escala durante fluxos de trabalho analíticos. A estrutura baseada em colunas também reduz os custos de armazenamento de dados e melhora significativamente o desempenho das consultas (Hevodata, 2023). Um exemplo de banco dessa categoria é o Apache HBase.

d) Baseado em grafos: um banco de dados gráfico é definido como uma plataforma especializada e de propósito único para criar e manipular grafos. Os grafos contêm nós, arestas e propriedades, usados para representar e armazenar dados de uma forma que os bancos de dados relacionais não estão equipados para fazer (Oracle, 2023). Podemos citar como representante dessa família o banco de dados Neo4j.

4. Categorização dos Benchmarks

Considerando que existe uma grande variedade de tecnologias NoSQL, foi necessário definir atributos para categorizar os benchmarks desses bancos de dados. As características que definimos para esse estudo foram:

1. Famílias compatíveis com o benchmark. Essa característica mostra o quão abrangente é a ferramenta.
2. Bancos de dados compatíveis com a ferramenta. Esse aspecto é um complemento do aspecto anterior. Existem casos de ferramentas que atendem a mais de uma categoria de NoSQL, porém só atendem a uma base de dados daquela família. Portanto, essa ferramenta não é

tão abrangente assim. Com essa informação foi possível filtrar os benchmarks construídos pelos próprios desenvolvedores dos bancos de dados, logo essa ferramenta só é compatível com apenas uma tecnologia NoSQL.

3. O que o benchmark busca avaliar. Com essa informação, é possível avaliar se a ferramenta tem como objetivo operações mais genéricas, como operações de CRUD, que são comuns entre as famílias, ou se são as operações mais específicas, como por exemplo travessia, que é exclusiva dos bancos de dados baseado em grafos.
4. Sistemas Operacionais compatíveis.
5. Ano de lançamento.
6. Se foi descontinuado ou não.
7. Empresa ou pessoas responsáveis pelo benchmark.
8. Se o benchmark oferece código aberto ou não.

5. Levantamento dos Benchmarks

Benchmark	Família Comp.	Bancos comp.	O que o BenchMark busca avaliar?	Sist. Comp.	Ano	Desc.	O. S.
NoSqlBench	Todas	dynamoDB, MongoDB, JBDC, etc.	Operações básicas	Windows/ Linux/Mac	2020	Não	Sim
Apache JMeter	Baseado em docs.	MongoDB	Simular uso real do banco de dados	Windows/ Linux/ Mac	1998	Não	Sim
Memtier_BenchMark	Chave-Valor	Redis e bancos compatíveis com Redis	Operações do Redis	Linux/ Windows	2013	Não	Sim
CBench_Dynamo	Chave-Valor	DynamoDB e bancos baseados em Dynamo	Avaliar a Consistência	N.I.	2019	N.I.	Sim
GoodBye	Grafos	ArangoDB, OrientDB, TitanDB, JanusGraph, GraphX	Queries específicas solicitadas por uma empresa de TI	Linux	2020	N.I.	Não
MMSBench-Net	Todas (Multi Modelo)	Polypheny, SurrealDB.	Reads(Document + Relacional), Shorterst Path (grafos)	Linux	2023	N.I.	Não
YCSB	Todas	MongoDB, DynamoDB, Redis, OrientDB, etc.	Operações de CRUD	Linux/ Windows	2010	Não	Sim
LDBC Social NetWork Benchmark	Grafos	Grafos	Interactive Workload (OLAP) Business Intelligence workload (OLTP)	N.I.	2012	Não	Sim
Columnar NoSql StarBenchmark	Colunar	Phoenix, HQL	Funções de Agregações	N.I.	2014	N.I.	Não
GeoYCSB	Todas	Todas as famílias	consultas geográficas	N.I.	2020	N.I.	Não
NoSQL Performance Tests	Todas	ArangoDb, MongoDB, neo4j	Funções específicas de cada categoria	Linux	2015	2018	Sim
XGDBench	Grafos	OrientDB, Neo4j, titan, etc.	Operações de Crud e travessias em grafos	Linux	2013	2016	Sim
NoWog	Bas. em Docs.	MongoDB	Simular workload reais	Linux	2016	2016	Sim
TGDB	Grafos	Grafos	Operações em grafos	N.I.	2016	N.I.	Não
HPC-SGAB	Grafos	Grafos	Operações em Grafos	N.I.	2009	2009	Não
Cyclone	Grafos	Neo4j, MySql	Operações em grafos	N.I.	2016	2016	Não
NoSql Workbench for dynamoDB	Chave-Valor	DynamoDB	Operações do DynamoDB	Linux/ Windows/ Mac	2019	Não	Não
SandStorm	Todas, exceto grafos	MongoDb, Cassandra, HBase, OracleNoSql	N.I.	N.I.	??	Não	Não
BigDataBench	Bas. em col. e docs.	Hbase, MongoDB	N.I.	N.I.	2013	Não	Sim
Mongo-Perf	Bas. em docs.	MongoDB	Operações do MongoDB	N.I.	2014	Não	Sim

Legenda:

Desc.: Descontinuado

O.S.: Open Source

Família Comp.: Família NoSQL compatível com benchmark

Banco comp.: Bancos compatíveis com o BenchMark

Sist. Comp.: Sistemas Compatíveis

Desc.: Descontinuado (ano)

Bas. em docs.: Baseado em documentos.

Bas. Em col. e docs.: Baseado em colunas e documentos.

N.I.: Não identificado.

Como existem diferenças nos modelos de dados entre as categorias de bancos de dados NoSQL, a maioria dos benchmarks são específicos para uma delas. Como é possível observar na Tabela 1, dentre os 20 benchmarks encontrados, apenas 6 funcionam para mais de um tipo de modelo de dados. O maior representante deles é o YCSB, que se tornou a opção

padrão quando se é necessário avaliar o desempenho de bancos de dados, principalmente quando é preciso realizar comparações entre bases de dados de diferentes famílias. É possível perceber através da tabela 1 os benchmarks disponíveis para cada família. Além disso, é possível verificar que a categoria que tem mais representantes específicos é a família dos grafos com 6

benchmarks especializados, são eles: Goodbye, LDBC Social Network Benchmark, XGDBench, TGDB, HPC-SGAB e o Cyclone. Por outro lado, os bancos de dados baseados em colunas possuem apenas um benchmark específico. Podemos verificar também que as ferramentas que analisam todas as categorias se limitam às operações básicas, que são comuns entre todas as famílias e não buscam utilizar as especificidades delas. Por outro lado, as ferramentas que analisam apenas uma família tendem a usar as operações avançadas, buscam utilizar as unicidades das categorias que estão analisando. A seguir, veremos as categorias e os benchmarks mais relevantes delas.

5.1 Chave-Valor

Para avaliar as bases dessa categoria temos como principal representante o já citado YCSB, que consegue avaliar as operações de CRUD e também Scan. Além dele, também podemos citar outra ferramenta, o NoSqlBench, que deseja ser uma ferramenta poderosa programável para testes de desempenho. enquanto é um ferramenta genérica (NoSQLBench, 2023). Há ainda três outros benchmarks que, são para a categoria de chave-valor, foram desenvolvidos para avaliar apenas um banco de dados dessa tecnologia: Memtier_benchmark que serve para mensurar o desempenho do Redis, Cbench_dynamo que é um benchmark que avalia a consistência do dynamoDB e NoSQL workbench for Dynamo, que também é voltado para o DynamoDB.

5.2 Orientado a Documentos

Para essa categoria, temos o NoWog, que introduz uma linguagem genérica para descrever as cargas de trabalho que independem da linguagem particular de consultas dos bancos de dados. Com o NoWog, é possível simular cargas de trabalhos reais, ou seja, simular como o banco de dados vai ser usado em aplicações reais. Há ainda o Mongo-Perf, mas esse benchmark serve apenas para avaliar o MongoDB.

5.3 Orientado a Colunas

Para avaliar esses bancos de dados, encontramos o Columnar NoSQL Star Schema benchmark (CNSSB), que tem suas consultas focadas em funções de agregações como demonstrado por (Dehdouh, Boussaid, Bentayeb, 2014) e o YCSB++. De acordo com Patit et al. (2011), este último é construído sobre o YCSB com um conjunto de extensões para melhorar a compreensão do desempenho e a depuração de recursos avançados desse tipo de banco de dados.

5.4 Orientado a Grafos

Os benchmarks dessa categoria incluem: GoodBye, LDBC, XGDBench, TGDB, HPC-SGAB e Cyclone. Todos eles têm suas cargas de trabalho baseadas nas operações sobre grafos, como travessia, caminho mais curto, etc. Ao comparar os bancos dessa categoria entre si, esses benchmarks trazem resultados mais confiáveis, tendo em vista que eles buscam aprofundar sua análise nas especificidades dessa categoria.

5.5 Outros casos

Pode-se citar dois casos específicos que não se encaixam nas categorias anteriores: o MMSBench-net e o GeoYCSB.

O MMSBench-Net é uma referência para avaliar sistemas de banco de dados multimodelos que suportam bancos relacionais, documentos semiestruturados e modelos de dados baseados em grafo. O MMSBench-Net permite a análise comparativa de banco de dados e demonstra como diferentes cargas de trabalho podem revelar os pontos fortes e fracos dos

sistemas de banco de dados multimodelos. (Lengweiler; Vogt; Shucltd, 2023).

De acordo com (Kim, Kanwar, 2019), o GeoYCSB é um framework para avaliar o desempenho e escalabilidade dos bancos de dados NoSQL geoespaciais.

5.6 Benchmarks Executados

Como proposto na metodologia, procurou-se executar os benchmarks encontrados na fase de levantamento. Para essa etapa da pesquisa, foi utilizada uma máquina virtual VM VirtualBox onde foi instalado o Sistema Operacional Ubuntu, 8GB de memória RAM, 100GB de armazenamento e 8 núcleos de um processador Ryzen 7 5600G. Dentre as 20 ferramentas encontradas, obteve-se acesso aos instaladores de onze delas. Dessas onze, tentou-se executar oito delas, mas apenas duas com sucesso: YCSB e o memtier_benchmark. As ferramentas que falharam foram as seguintes: NoSqlBench, XGDBench, LDBC Social Network Benchmark, NoWog, SandStorm e o mongo-perf.

As ferramentas que não foram instaladas incluem: BigDataBench, Apache JMeter e NoSql Workbench for DynamoDB. A principal razão para a não instalação foi especialmente o curto tempo disponível para pesquisa, e o outro motivo foi o fato dessas ferramentas serem compatíveis com apenas um ou dois sistemas de bancos de dados não relacionais e, portanto, não são tão úteis para realizar a comparação de desempenho de diferentes bancos de dados.

As ferramentas NoSqlBench e o SandStorm oferecem boa documentação. Entretanto, mesmo seguindo o passo a passo da instalação, apresentaram erros ao serem executadas. Seria necessário mais tempo para investigar as causas dos erros. Já a ferramenta LDBC Social Network Benchmark, cuja instalação apresentava uma maior complexidade, não foi executada devido ao fato de ser destinada apenas para tecnologias orientada a grafos. No caso das ferramentas NoWog e XGDBench, não foi possível executá-los por apresentarem documentação insuficiente sobre como executar. Aliado ao fato de ambas terem sido descontinuadas, sua utilização foi descartada. Já o motivo pelo qual o Mongo-perf não ter sido utilizado refere-se a um problema de incompatibilidade de versões. A partir da versão do 6.0 do MongoDB, são necessárias algumas adaptações para executar o Mongo-Perf. A versão instalada do MongoDB na máquina virtual utilizada nesta pesquisa era a 7.0.

Dois benchmarks foram executados com sucesso: memtier_benchmark e YCSB. Ambos são bem documentados.

5.6.1 Benchmark memtier

```

Writing results to stdout
[RUN #1] Preparing benchmark client...
[RUN #1] Launching threads now...
[RUN #1 5%, 0 secs] 4 threads: 109560 ops, 109566 (avg: 109566) ops/se
[RUN #1 11%, 2 secs] 4 threads: 219002 ops, 109369 (avg: 109468) ops/s
[RUN #1 16%, 3 secs] 4 threads: 329490 ops, 110457 (avg: 109797) ops/s
[RUN #1 22%, 4 secs] 4 threads: 440683 ops, 111123 (avg: 110129) ops/s
[RUN #1 28%, 5 secs] 4 threads: 552444 ops, 111706 (avg: 110444) ops/s
[RUN #1 33%, 6 secs] 4 threads: 661787 ops, 109291 (avg: 110252) ops/s
[RUN #1 39%, 7 secs] 4 threads: 772077 ops, 111049 (avg: 110366) ops/s
[RUN #1 44%, 8 secs] 4 threads: 883595 ops, 110646 (avg: 110491) ops/s
[RUN #1 50%, 9 secs] 4 threads: 992243 ops, 108626 (avg: 110204) ops/s
[RUN #1 55%, 10 secs] 4 threads: 1102328 ops, 110036 (avg: 110187) ops/s
[RUN #1 61%, 11 secs] 4 threads: 1214775 ops, 112397 (avg: 110388) ops/s
[RUN #1 66%, 12 secs] 4 threads: 1323218 ops, 108466 (avg: 110223) ops/s
[RUN #1 72%, 13 secs] 4 threads: 1434038 ops, 110786 (avg: 110266) ops/s

```

O memtier_benchmark é uma interface de linha de comando (CLI) desenvolvido pela empresa Redis Labs. Essa ferramenta é utilizada para avaliar o desempenho do sistema NoSQL Redis, ela pode gerar tráfego de dados de diferentes formas além de vários recursos de relatórios para mostrar os dados encontrados. Sua documentação apresenta um passo a passo bem claro que facilita a execução. Através dos parâmetros passados por linha

de comando, é possível alterar alguns comportamentos de como o benchmark irá ser executado, como por exemplo, o número de threads a serem utilizadas para mensurar o desempenho do banco de dados.

5.6.2 Benchmark YCSB

```
Command line: -t -db site.ycsb.db.RedisClient -s -P workloads/workloadE -p redis
:host=127.0.0.1 -p redis.port=6379
YCSB Client 0.17.0

Loading workload...
Starting test.
DBWrapper: report latency for each error is false and specific error codes to track for latency are: []
2023-10-29 01:35:46:238 0 sec: 0 operations; est completion in 0 second
2023-10-29 01:35:49:281 3 sec: 1000 operations; 323,52 current ops/sec; [CLEANUP
: Count=1, Max=614, Min=614, Avg=614, 90=614, 99.9=614, 99.99=614] [INSE
RT: Count=56, Max=3539, Min=180, Avg=328,98, 90=382, 99=470, 99.9=3539, 99.99=35
39] [SCAN: Count=944, Max=23503, Min=111, Avg=3161,27, 90=5715, 99=6835, 99.9=84
47, 99.99=23503]
```

O benchmark YCSB oferece uma boa documentação e apresenta um guia de sua instalação, além de possuir um passo a passo ensinando como pode ser executado de acordo com a tecnologia NoSQL escolhida. Dessa forma, a experiência do usuário é bem mais prática. O YCSB possui seis cargas de trabalho (workloads), caracterizadas por uma letra no final do workload. O que diferencia uma carga de trabalho da outra são as proporções das operações que elas executam. As operações são: insert, update, read e scan. Foi utilizado o YCSB para avaliar dois bancos de dados: o Memcached e o Redis. Todas as cargas de trabalho foram executadas nos dois. O Redis apresentou um desempenho melhor em cinco dessas cargas. Apenas na carga de trabalho E, que consiste em 95% de operações de scan, o memcached apresentou 6.849 operações por segundo, enquanto o Redis limitou-se a executar 324 operações por segundo.

Portanto, foi obtido sucesso na execução de apenas 10% dos benchmarks encontrados. Infelizmente é uma taxa baixa de sucesso. Sendo assim, uma parte da pesquisa foi comprometida, já que era esperado utilizar os benchmarks, com o intuito de adquirir maiores informações sobre eles. Os principais fatores desse resultado são a falta de documentação sobre as ferramentas e como podem ser utilizados, a incompatibilidade com versões mais atualizadas das tecnologias NoSQL e a falta de disponibilização de alguns benchmarks na Internet, onde são encontrados apenas artigos sobre eles.

6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa tem como objetivo fazer um levantamento dos benchmarks para tecnologias NoSql para adquirir conhecimento sobre eles, e através disso, compreender a utilidade dessas ferramentas e os objetivos delas. Com isso, é possível compreender o estado atual desses benchmarks.

Percebeu-se que a maioria dos benchmarks tem como foco apenas uma categoria de sistemas NoSQL. A categoria de grafos é a que mais possui benchmarks e eles buscam mensurar o desempenho através dos recursos avançados de grafos como, por exemplo, a função de shortest path (caminho mais curto), que é utilizada para encontrar o caminho mais curto entre dois nós. Por outro lado, as categorias dos sistemas NoSQL baseados em colunas e documentos dispõem de poucas ferramentas de avaliação de desempenho. As tecnologias do tipo chave-valor são as que mais possuem benchmarks que normalmente atendem um banco de dados específico, ou seja, foram desenvolvidas apenas para avaliar uma tecnologia de banco de dados. Existe uma dificuldade ao executar os benchmarks disponíveis no mercado decorrentes de fatores como a falta de documentação para essas ferramentas, complexidade na instalação de algumas

delas e teve casos de ferramentas que apresentam falha na execução mesmo seguindo o passo a passo indicado em sua documentação. A taxa de sucesso mostrada na pesquisa nos leva a essa conclusão, onde deve ser demandado maior dedicação e tempo para conseguir executar todos os benchmarks que possuem seus instaladores disponíveis para o público. A maioria das ferramentas encontradas nesta pesquisa não eram disponibilizadas para serem executadas.

Percebe-se também que existem poucos representantes de benchmarks capazes de realizar avaliações de desempenho em sistemas NoSQL pertencentes a categorias diferentes. O maior representante deles é o YCSB, que atualmente é o mais relevante dos benchmarks, especialmente nesse quesito.

Sendo assim, para avaliar tecnologias de uma categoria existem mais opções e essas alternativas buscam explorar as especificidades das categorias. Por outro lado, a avaliação de desempenho entre diferentes categorias ainda é limitada, já que atualmente, quanto mais abrangente é o benchmark, menor é a profundidade que ele busca para avaliar as bases de dados, e se limita a operações básicas.

Como sugestões de trabalhos futuros, é possível elencar: a) executar as ferramentas que não foram possíveis serem analisadas nesta pesquisa, para adquirir maior conhecimento sobre elas; b) encontrar ferramentas não listadas neste estudo, em especial, tentar encontrar um benchmark que consiga ser abrangente sem perder a profundidade de suas análises; c) como em Reniers, Landuyt, Rafique e Joosen (2017), desenvolver uma ferramenta que consiga avaliar as quatro principais categorias, utilizando as especificidades de cada uma delas em suas análises.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Davoudian; Chen; Li. A Survey on NoSQL Stores (2018), ACM Computing Surveys, v. 51, n. 2, p. 1-43. Disponível em <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3158661> Acesso em 19 de outubro de 2023.
- [2] Yahoo. Disponível em <https://research.yahoo.com/news/yahoo-cloud-serving-benchmark>. Acesso em 19 de outubro em 2023
- [3] Moniruzzaman; Hossain. NoSQL Database: New Era of Databases for Big data Analytics - Classification, Characteristics and Comparison (2013). Disponível em https://www.researchgate.net/publication/243963821_NoSQL_Database_New_Era_of_Databases_for_Big_data_Analytics_-_Classification_Characteristics_and_Comparison. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [4] NoSQL-DATABASE. Disponível em hostingdata.co.uk/NoSQL-database. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [5] Reniers, Landuyt, Rafique e Joosen. On the state of NoSQL benchmarks. Disponível em <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3053600.3053622>. Acesso em 30 de setembro.
- [6] Amazon WEB Services. Disponível em <https://aws.amazon.com/pt/NoSQL/>. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [7] MongoDB. Disponível em <https://www.mongodb.com/databases/key-value-database>. Acesso em 30 de setembro de 2023

- [8] Redis. Disponível em <https://redis.com/NoSQL/document-databases/>. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [9] Hevodata. Disponível em <https://hevodata.com/learn/columnar-databases/>. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [10] Oracle. Disponível em <https://www.oracle.com/database/graph/>. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [11] NoSQL benchmarks. <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1BXmIXZgUGSkGL2dmTGz48dD-oywZu7duOE2hnOBL5O/edit#gid=0>. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [12] NoSQLBench. Disponível em <https://github.com/NoSQLbench/NoSQLbench>. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [13] Dehdouh; Boussaid; Bentayeb. Columnar NoSQL Star Schema Benchmark (2014). Disponível em https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-11587-0_26. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [14] Patit Et Al. YCSB++: Benchmarking and Performance Debugging Advanced Features in Scalable Table Stores (2011). Disponível em https://www.researchgate.net/publication/239761095_YCSB_Benchmarking_and_Performance_Debugging_Advanced_Features_in_Scalable_Table_Stores. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [15] Lengweiler; Vogt; Shucldt. MMSBench-Net: Scenario-Based Evaluation of Multi-Model Database Systems. Disponível em https://gvdb23.informatik.uni-stuttgart.de/wp-content/uploads/2023/06/GvDB2023_Lengweiler.pdf. Acesso em 30 de setembro de 2023.
- [16] Kin; Kanwar. GeoYCSB: A Benchmark Framework for the Performance and Scalability Evaluation of NoSQL Databases for Geospatial Workloads. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/document/9005570>. Acesso em 30 de Setembro de 2023.
- [17] Bouckaert Et Al. Benchmarking computers and computer networks. Disponível em <http://www.crew-project.eu/sites/default/files/Benchmarking%20computers%20and%20computer%20networks.pdf>. Acesso em 25 de outubro de 2023.

Sobre o autor:

José de Arimateia Morais Filho é graduando de Ciência da Computação na Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente trabalha como desenvolvedor na empresa DBSeller.