INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SUDESTE DE MINAS GERAIS - CAMPUS RIO POMBA

STEPHANYE CRISTINE ANTUNES DE CUNTO

ESCREVER O TÍTULO AQUI

RIO POMBA - MG
2025

STEPHANYE CRISTINE ANTUNES DE CUNTO

ESCREVER O TÍTULO AQUI

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao *Campus* Rio Pomba, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, como parte das exigências do curso de Bacharelado em Ciência da Computação para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientadora: ME. BIANCA PORTES DE CASTRO

Coorientador: DR. JOSÉ RUI CASTRO DE SOUSA

RIO POMBA - MG

2025

FICHA CATALOGRÁFICA TEMPORÁRIA
STEPHANYE CRISTINE ANTUNES DE CUNTO
ESCREVER O TÍTULO AQUI/ STEPHANYE CRISTINE ANTUNES DE CUNTO. – RIO POMBA - MG, 2025-
Orientadora: ME. BIANCA PORTES DE CASTRO

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas, Campus Rio Pomba

STEPHANYE CRISTINE ANTUNES DE CUNTO

ESCREVER O TÍTULO AQUI

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao *Campus* Rio Pomba, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, como parte das exigências do curso de Bacharelado em Ciência da Computação para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Trabalho aprovado em XX de XXXXX de XXXX.

ME. BIANCA PORTES DE CASTRO
Orientadora, IF Sudeste MG - Rio Pomba

DR. JOSÉ RUI CASTRO DE SOUSA
Coorientador, IF Sudeste MG - Rio Pomba

TÍTULO E NOME DO MEMBRO DA BANCA
IF Sudeste MG - Rio Pomba

RIO POMBA - MG

2025

"Os olhos não são apenas
o espelho da alma,
mas também do corpo."
(Ignatz von Peczelly, 1989)

Resumo

O resumo é um texto breve que apresenta, de forma clara e objetiva, os principais elementos da monografia. Ele deve permitir que o leitor compreenda rapidamente sobre o que é o trabalho, qual foi a abordagem adotada e quais foram os resultados e conclusões. Na ABNT (NBR 6028), recomenda-se que o resumo seja escrito em parágrafo único, sem subdivisões e sem citações diretas, geralmente com 150 a 500 palavras. O que incluir no resumo: Tema e objetivo Apresente o assunto principal e o objetivo geral do trabalho; Metodologia Informe de forma resumida o método, técnicas ou procedimentos utilizados; Resultados Destaque os resultados mais relevantes obtidos na pesquisa; Conclusão Apresente a principal contribuição ou conclusão do estudo. Dicas importantes: Escreva no tempo passado, já que o trabalho foi realizado. Evite usar abreviações pouco conhecidas ou siglas sem explicação. Não insira informações que não estejam no corpo do trabalho. Revise para garantir clareza, coerência e objetividade. Lembre-se de incluir palavras-chave logo abaixo do resumo (entre três e cinco termos que representem bem o conteúdo do trabalho, separados com ponto e vírgula). Importante: O resumo deve ser escrito após a conclusão do trabalho, quando todos os resultados já estão definidos. Assim, será fiel ao conteúdo final da monografia.

Palavras-Chave:

Abstract

Tradução do resumo para a língua inglesa.

Key-words:

Lista de abreviaturas e siglas

CPU	Unidade Central de Processamento
I/O	Entrada/Saída
JVM	Java Virtual Machine (Máquina Virtual Java)
SO	Sistema Operacional
SPD	Sistemas Paralelos E Distribuídos
XXX	INSERIR EM ORDEM ALFABÉTICA

Sumário

1 Introdução

Uma thread é a menor unidade de processamento existente dentro de um processo. Cada processo é capaz de conter múltiplas threads, permitindo a execução simultânea de diferentes partes de um programa ou de diferentes tarefas (Silberschatz; Galvin; Gagne, 2018).

A utilização de threads oferece diversos benefícios em problemas que envolvem tarefas de alto processamento (*CPU-bound*) e operações de entrada e saída (*I/O-bound*). Além disso, em sistemas reativos e servidores,threads permitem que aplicações atendam múltiplos usuários simultaneamente,mantendo respostas rápidas e contínuas mesmo sob alta carga, garantindo desempenho eficiente e melhor experiência ao usuário. Assim, o uso de threads é aplicado como estratégia para otimizar recursos computacionais e melhorar a eficiência de sistemas em diferentes contextos.

O relatório *State of the Octoverse 2024* (GitHub, 2024) demonstra que a linguagem de programação Java está entre as cinco linguagens mais utilizadas na plataforma, o que reforça sua importância como uma das principais tecnologias do desenvolvimento de software.

No lançamento da versão 19 do Java, foram introduzidas as threads virtuais, que, diferente das threads tradicionais, são gerenciadas pela *Java Virtual Machine* (JVM). Enquanto o escalonamento das threads tradicionais é realizado pelo sistema operacional (SO), determinando quando cada thread é executada, o escalonamento das threads virtuais é feito pela própria JVM, podendo apresentar comportamentos distintos (_virtual_-threads++IMPL_virtual_threads++YEAR_virtual_threads++IMPL**??**).

O uso de threads tradicionais pode gerar *overhead* e limitar a escalabilidade. Dessa forma, as threads virtuais surgem como alternativa para contornar essas limitações. Este trabalho investiga como a utilização de threads virtuais impacta o desempenho e a escalabilidade de aplicações concorrentes.

O objetivo deste trabalho é analisar as diferenças de desempenho entre threads tradicionais e threads virtuais, avaliando como cada abordagem impacta a execução de aplicações concorrentes.

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Compreender os fundamentos teóricos da programação concorrente e das diferentes abordagens de threads;
- Implementar protótipos de aplicações concorrentes utilizando ambas as abordagens;
- Medir e comparar métricas de desempenho;

- Analisar os resultados obtidos, identificando vantagens e limitações.

A escolha deste tema parte do interesse gerado durante a disciplina de Sistemas Paralelos e Distribuídos (SPD), na qual foram estudados os conceitos fundamentais de concorrência, paralelismo e gerenciamento de threads. Além disso, o apreço pessoal pela linguagem Java contribuiu para a definição do tema, considerando que a plataforma tem investido em melhorias relacionadas à programação concorrente. Dessa forma, esse trabalho se justifica pelo interesse acadêmico adquirido ao longo da disciplina e pela pertinência de investigar uma inovação recente da linguagem Java, contribuindo para a compreensão de como esse novo modelo de threads pode aprimorar o desempenho de aplicações concorrentes.

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- **Seção 1 - Introdução:** Apresenta o tema, os objetivos e a justificativa.
- **Seção 2 - Fundamentação teórica:** Expõe os conceitos de concorrência e paralelismo e descreve o funcionamento de processos, threads tradicionais e threads virtuais.
- **Seção 3 - Trabalhos Relacionados:** Revisa estudos anteriores sobre o desempenho de threads tradicionais e threads virtuais.
- **Seção 4 - Metodologia:** Detalha como os testes foram conduzidos e como os dados foram coletados.
- **Seção 5 - Resultados e Discussão:** Apresenta e analisa os dados obtidos durante os testes.
- **Seção 6 - Conclusão:** Expõe as considerações finais do estudo.

Por fim, são listadas as referências bibliográficas utilizadas no trabalho, seguidas pelos apêndices e anexos que complementam o estudo.

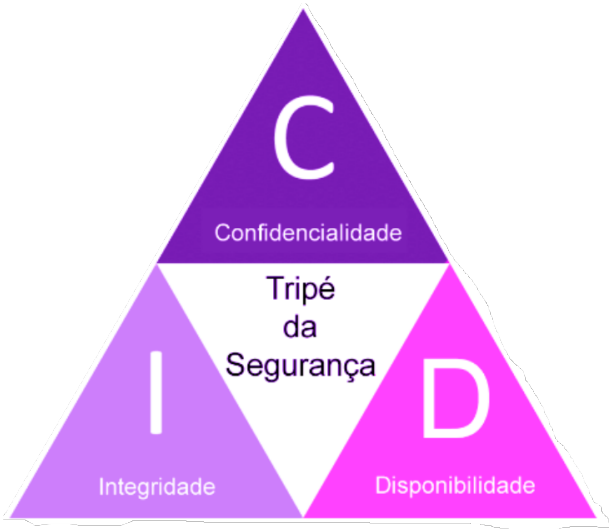
2 Fundamentação Teórica

Exemplo de citação no final do texto (PECB, 2022).

Exemplo de citação dentro do texto PECB (2022).

Exemplo de uma Figura. Use ref para chamá-la no texto. Figura 1.

Figura 1 – Pilares da Segurança da Informação.



Fonte: Bughunt (2023).

2.1 Para criar um título

Sempre inserir um texto entre os Títulos

2.1.1 mais um título

Um exemplo de Quadro (Quadro 1).

Categoria	Resultado
Frequência	3.661 incidentes, sendo (82,8%) com vazamento confirmado de dados.
Atores de ameaça	(100%) externos (*breaches*).
Motivações	(95%) financeiras, (5%) espionagem (*breaches*).
Dados comprometidos	Credenciais (50%), pessoais (41%), internos (20%), outros (14%).

Fonte: Verizon (2024), adaptado.

Um exemplo de Tabela.

2.1.1.1 O que escrever na Fundamentação Teórica

A Fundamentação Teórica é a base conceitual do seu trabalho. Nela, você apresenta, discute e analisa as teorias, conceitos, modelos e estudos já existentes que sustentam a sua

Tabela 1 – Notificações formais de incidentes e vulnerabilidades em órgãos públicos entre 2021 e 2025.

Ano	Vulnerabilidades	Incidentes	Total de notificações
2025	1994	4859	6853
2024	5115	9803	14918
2023	10225	4905	15130
2022	5128	3402	8530
2021	4964	4903	9867
Total	27426	27872	55298

Fonte: CTIR Gov (2025).

pesquisa.

Incluir conceitos e definições Explique os principais termos, conceitos e elementos que serão usados no trabalho, sempre com referência a autores da área.

Modelos, teorias e abordagens Traga as principais correntes teóricas que embasam seu estudo.

Dicas importantes:

- Sempre cite as fontes de onde retirou as informações (seguindo as normas da ABNT).
- Organize o texto de forma lógica, por temas ou subtemas, evitando apenas listar autores.
- Não copie trechos longos; prefira escrever com suas palavras e citar corretamente.
- Evite incluir opiniões pessoais mantenha o foco no que já foi publicado por outros autores.

Relacionamento com o seu trabalho Mostre como essas teorias e estudos se aplicam ou se relacionam com a sua pesquisa.

3 Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta trabalhos que servem de base para a pesquisa sobre threads tradicionais e threads virtuais em Java. São discutidos estudos anteriores que investigaram o desempenho dessas threads. Com a revisão realizada, é possível compreender as abordagens utilizadas, os resultados obtidos e as lacunas existentes, fornecendo um referencial teórico sólido para os testes conduzidos neste trabalho.

3.1 Benchmarking the Performance of Java Virtual Threads in High-Throughput Workloads

Pandita (2024) apresentou uma comparação entre threads virtuais e threads tradicionais, considerando escalabilidade, utilização de recursos e latência em cargas de trabalho de alto rendimento. Foram realizados dois benchmarks: CPU-bound, envolvendo cálculos de números primos, e I/O-bound, simulando operações de bloqueio entre duas aplicações Java em ambiente AWS EC2.

Os resultados mostraram que, em tarefas com baixo uso de CPU, ambos os modelos apresentam desempenho semelhante. Em cenários intensivos de CPU, a limitação dos recursos computacionais restringe o aumento da simultaneidade. Por outro lado, em operações I/O-bound, threads virtuais se destacaram, oferecendo maior simultaneidade, redução do consumo de memória e melhor aproveitamento da CPU. Esses dados reforçam a eficiência das threads virtuais em operações de I/O e fornecem um referencial relevante para estudos comparativos, como o presente trabalho.

3.2 Uma análise comparativa entre threads e green threads no Java

Souto (2024) realizou uma pesquisa comparando o desempenho de threads tradicionais e threads virtuais. O estudo analisou operações fundamentais de gerenciamento de threads, o tempo necessário para instanciá-las, iniciá-las, finalizá-las e realizar a troca de contexto em ambas. Para isso, foram utilizados testes com diferentes quantidades de threads e a biblioteca JMH do JDK para coleta precisa de tempos de execução.

O estudo demonstrou que, nos cenários testados, as threads virtuais podem ser mais de 100 vezes mais rápidas que as threads tradicionais, evidenciando sua eficiência em operações de criação, inicialização, finalização e mudança de contexto. Apesar do alto desempenho observado, o estudo se concentrou em cenários específicos, abrindo espaço para pesquisas adicionais que explorem diferentes cargas de trabalho e padrões de uso de threads, como os apresentados neste trabalho.

3.3 Comparison of Concurrency Technologies in Java

Em seu trabalho, Gustafsson e Persson (2024) realizou quatro benchmarks com o objetivo de comparar o desempenho entre threads tradicionais, threads virtuais e Reactive Framework em testes de I/O-bound (simulado), CPU-bound e testes mistos.

No teste I/O-bound, utilizou-se o mecanismo Thread.sleep(100 ms) para simular tempos de espera. No teste CPU-bound, realizou-se a multiplicação de matrizes 200x200. Os dois testes mistos combinaram cálculos de matrizes e pausas: um focado em I/O-bound multiplicando matrizes 50x50 com pausa de 100 ms, e outro focado em CPU-bound multiplicando matrizes 200x200 com pausa de 50 ms.

Os resultados indicaram que, no teste CPU-bound, threads tradicionais apresentaram melhor desempenho em termos de throughput e latência. No teste I/O-bound, o Reactive Framework se destacou, mostrando maior escalabilidade e menor uso de CPU e memória. Nos testes mistos, threads virtuais obtiveram alta taxa de requisições e baixa latência no cenário CPU-bound, mantendo desempenho elevado no cenário I/O-bound, enquanto threads tradicionais apresentaram maior latência e menor throughput. O que torna nótorio que a eficácia das threads virtuais em cenários mistos, evidenciando seu potencial em aplicações que demandam simultaneidade e eficiência de recursos.

3.4 Avaliação dos mecanismos de concorrência na API do Java 8

Uma análise comparativa do desempenho de single thread, threads, ExecutorService e Fork/Join em algoritmos de ordenação foi realizada por Aguas (2015) , utilizando os algoritmos Quicksort, Merge-sort e Pigeonhole Sort. Os testes foram conduzidos em três máquinas com processadores diferentes (Dual-Core, i5 e i7), e cada algoritmo foi executado 60 vezes para cada abordagem de concorrência.

O Quicksort executado com ForkJoin-Pool em uma máquina com 8 processadores lógicos apresentou o melhor desempenho em termos de tempo. De forma geral, Quicksort combinado com ForkJoin-Pool registrou os menores tempos na maioria dos cenários testados. O estudo demonstrou que a máquina com maior número de processadores lógicos obteve os melhores resultados, comprovando que a execução paralela se beneficia diretamente da disponibilidade de mais núcleos para distribuir as tarefas simultaneamente.

Esse trabalho evidencia a importância da escolha adequada de técnicas de concorrência e da arquitetura de hardware para otimização do desempenho em algoritmos paralelos.

3.5 Síntese dos Trabalhos Relacionados

Observa-se na literatura um crescente enfoque em threads virtuais e tradicionais em Java.

Em seu texto Souto (2024) concentrou-se na análise das operações de criação, inicialização, finalização e troca de contexto, onde se nota que threads virtuais podem ser mais de 100 vezes mais rápidas que threads tradicionais em cenários específicos. Por sua vez Pandita (2024) aprofunda essa análise ao avaliar o desempenho em cargas CPU-bound e I/O-bound, onde nota-se que, em tarefas com baixo uso de CPU, o desempenho é semelhante, porém threads virtuais se destacam em operações I/O, oferecendo maior simultaneidade, redução do consumo de memória e melhor aproveitamento da CPU.

Gustafsson e Persson (2024) expandiu a análise incluindo o Reactive Framework e cenários mistos, mostrando que threads virtuais apresentam alta taxa de requisições e baixa latência em cenários combinados de CPU e I/O, enquanto threads tradicionais apresentam limitações de throughput e latência. Enquanto Aguas (2015) avaliou abordagens de concorrência na execução de algoritmos de ordenação, deixando claro que a execução paralela se beneficia diretamente do aumento do número de núcleos, principalmente quando combinada com ForkJoin-Pool, o que demonstra a importância do alinhamento entre técnicas de concorrência e arquitetura de hardware.

A comparação desses estudos permite identificar padrões: threads virtuais oferecem vantagens em simultaneidade e eficiência de recursos, especialmente em operações de I/O ou cenários mistos, enquanto threads tradicionais ainda podem apresentar desempenho competitivo em tarefas CPU-bound simples.

O presente trabalho se apoia nesses estudos como referencial para analisar o desempenho de threads tradicionais e virtuais em Java, destacando diferenças de comportamento em operações básicas de criação, execução e finalização de threads. Dessa forma, busca-se fornecer uma compreensão prática sobre a eficiência e o uso de recursos dessas duas abordagens de concorrência em cenários controlados.

4 Metodologia

Essa seção descreve a metodologia adotada para comparar o desempenho entre threads tradicionais e threads virtuais em Java. Foram realizados testes controlados para medir métricas de desempenho, como latência, utilização de CPU e memória, sob diferentes cargas de trabalho.

Todos os testes foram baseados nos testes realizados por Gustafsson e Persson (2024), adaptados para o contexto deste trabalho.

Nas seções a seguir, a metodologia adotada é descrita.

4.1 Configuração de hardware

Os experimentos foram conduzidos utilizando duas máquinas distintas: uma atuando como servidor e outra como cliente de carga.

4.1.1 Servidor

O servidor possuía as seguintes características:

- Processador: Apple M2 (8 núcleos)
- Memória RAM: 8 GB
- Sistema Operacional: macOS Tahoe (versão 26)
- Java Development Kit (JDK): versão 21 LTS
- Spring Boot: versão 3.3.2 (obs.: verificar versão)
- Conexão de rede: Wi-fi 50 Mbps

4.1.2 Cliente

A máquina cliente utilizada para gerar carga possuía as seguintes especificações:

- Processador: Intel Core i5-2410M (2 núcleos, 4 threads)
- Memória RAM: 8 GB
- Sistema Operacional: Ubuntu 22.04 LTS
- Ferramenta de carga: Vegeta (versão 12.13.0)
- Conexão de rede: Wi-fi 50 Mbps

4.1.3 Configurações de Sistema e Rede

As configurações de memória e de threads da JVM foram mantidas em seus valores padrão. No entanto, foram aplicadas configurações adicionais no sistema operacional, em ambas as máquinas, com o objetivo de evitar gargalos externos que pudessem interferir nos resultados dos testes.

Essas configurações visaram garantir que limitações observadas estivessem associadas ao mecanismo de gerenciamento de threads, e não a restrições impostas pelo sistema operacional ou pela pilha de rede.

- Número máximo global de arquivos abertos no sistema (1048576), cada conexão TCP consome um descritor de arquivo o que poderia limitar o número de conexões simultâneas.
- Número máximo de arquivos abertos por processo (1048576), garantindo que o servidor possa abrir muitos arquivos e conexões de rede simultaneamente.
- Tamanho máximo da fila de conexões pendentes (4096), permitindo que o servidor aceite um grande número de conexões simultâneas.
- Tamanho máximo do buffer de socket (8 MB), otimizando a transferência de dados pela rede.
- Número máximo de processos por usuário (2000), garantindo que o servidor possa criar muitas threads conforme necessário.
- Tamanho do buffer de envio e recebimento TCP (2 MB), otimizando a transferência de dados pela rede.
- Tempo que conexões TCP permanecem em estado TIME_WAIT (250 ms), liberando recursos mais rapidamente.
- Desativação do ACK atrasado do TCP, reduzindo a latência em conexões de rede.
- Faixa de portas TCP (1024 a 65.535), evita esgotamento de portas efêmeras.

Todos os experimentos foram realizados com a comunicação entre servidor e cliente por rede wi-fi local o que pode introduzir variações adicionais de latência, entretanto, como ambos os mecanismos de threads foram avaliados sob as mesmas condições, tal impacto é considerado equivalente para fins comparativos.

4.2 Configuração do servidor

Para a realização dos testes, foi desenvolvido um servidor HTTP simples utilizando o framework Spring Boot. A escolha do Spring Boot se deve à sua popularidade e facilidade de uso para a criação rápida de aplicações web em Java.

O servidor foi implementado de forma a suportar tanto threads tradicionais quanto threads virtuais, permitindo a comparação direta entre os dois mecanismos e expõe um endpoint REST que responde a requisições do tipo GET com o status 200 (OK) e um corpo de resposta contendo uma mensagem simples.

Foram criados os seguintes endpoints no servidor:

- `/threads/traditional`: Inicia uma thread tradicional e espera 100 ms antes de responder à requisição.
- `/threads/virtual`: Inicia uma thread virtual e espera 100 ms antes de responder à requisição.
- `/threads/gc`: Executa manualmente o processo de garbage collection.

O tempo de espera de 100 ms foi escolhido para simular uma operação I/O-bound, permitindo avaliar o desempenho dos mecanismos de threads em um cenário típico de aplicações web.

Para evitar que o servidor se tornasse um gargalo durante os experimentos, foram aplicadas configurações específicas no Spring Boot com o objetivo de suportar um elevado número de conexões simultâneas:

- `server.tomcat.max-threads=50000`: Define o número máximo de threads que o servidor pode criar para processar requisições.
- `server.tomcat.accept-count=20000`: Define o tamanho da fila de conexões pendentes.
- `server.tomcat.connection-timeout=5000`: Define o tempo máximo em milissegundos que o servidor espera por uma conexão.
- `spring.threads.virtual.enabled=true`: Habilita o uso de threads virtuais no Spring Boot.

4.3 Métricas coletadas

O servidor foi configurado para registrar as seguintes métricas de desempenho utilização média da CPU, memória RAM e heap da JVM utilizando o Java Flight Recorder

(JFR). Os dados foram salvos no arquivo Monitor.jfr e processados utilizando o Java Mission Control (JMC) para geração de tabelas.

A máquina cliente foi monitorada pelo Vegeta que coletou as seguintes métricas: latência (mínima, máxima, média e percentis 50, 90, 95 e 99), taxa de transferência, taxa de amostragem, respostas do servidor (para cálculo da taxa de sucesso), bytes de entrada e bytes de saída.

4.4 Tratamento de erros

Durante os experimentos, foram observados erros de conexão e tempo limite. A taxa de sucesso foi calculada com base no número total de requisições enviadas e no número de respostas bem-sucedidas recebidas do servidor.

Todos os erros ocorreram devido à falta de resposta do servidor, indicando que o mesmo não conseguiu processar todas as requisições recebidas. Esses erros foram identificados através de tokens gerado pelo Vegeta.

Como exemplo, alguns erros observados:

- `EOF (Client.Timeout exceeded while awaiting headers)`
- `http: server closed idle connection (Client.Timeout exceeded while awaiting headers)`
- `context deadline exceeded (Client.Timeout exceeded while awaiting headers)`

Execuções que apresentaram erros foram mantidas, e a taxa de sucesso foi registrada como uma métrica para análise. Esses registros permitiram monitorar a estabilidade do servidor e avaliar o limite máximo de requisições processáveis.

4.5 Testes

Foram realizados dois tipos de testes: teste de carga constante e teste de aumento gradual de carga (*ramp up*). Ambos tiveram como objetivo comparar o desempenho entre *threads* tradicionais e *threads* virtuais.

Para garantir condições equivalentes entre as execuções, foram utilizados scripts automatizados que padronizaram tempos de aquecimento, pausas e coleta de lixo.Além disso, foi definida uma ordem de execução que alternava entre o uso de *threads* tradicionais e virtuais, com o objetivo de minimizar possíveis vieses relacionados à ordem dos testes. A ferramenta Vegeta foi empregada tanto para o envio das requisições quanto para o monitoramento.

Os testes foram executados quarenta e cinco vezes para cada mecanismo de *threads*, totalizando noventa execuções. Esse número de repetições mostrou-se suficiente para garantir estabilidade estatística nos resultados obtidos.

Para cada execução do teste, foi gerado um arquivo JSON contendo as métricas coletadas pela ferramenta Vegeta e um arquivo JFR com métricas coletadas no servidor, como utilização de CPU e memória.

Conforme realizado no trabalho de Gustafsson e Persson (2024), o *garbage collection* (GC) manual foi executado antes de cada teste, com o objetivo de minimizar o impacto das coletas automáticas durante a execução. Após a realização de alguma requisição, aguardou-se 60 segundos antes de executar o GC. Em seguida, foram aguardados mais 20 segundos após a coleta de lixo para iniciar o teste, o que se mostrou suficiente para estabilizar o sistema.

Além disso, foram realizadas pausas de 60 segundos entre os testes para garantir que o sistema retornasse a um estado estável antes do início de uma nova execução.

Não foi possível atingir os limites da máquina servidora, uma vez que o sistema operacional impôs uma quantidade limitada de requisições simultâneas. Dessa forma, os testes atingiram o limite do sistema operacional, enquanto os limites de hardware da máquina não foram alcançados.

Os scripts utilizados nos experimentos e o código-fonte do servidor, estão disponíveis no repositório do GitHub: https://github.com/StephanyeCunto/TCC_Java_Thread_Benchmark.

Os testes são descritos nas subseções seguintes.

4.5.1 Teste de Carga Constante

Para investigar a existência de diferenças entre os mecanismos de *threads* ao longo de um período prolongado, foram realizados testes com carga constante. Para isso, fixou-se uma taxa de requisições baseada nos limites impostos pelo sistema operacional da máquina servidora.

A taxa definida foi de 1000 requisições por segundo, com duração de 10 minutos. Esse valor foi definido após testes preliminares que indicaram que a máquina servidor começava a apresentar erros de conexão acima dessa taxa.

O teste foi realizados da seguinte maneira:

1. Três séries de aquecimento (*warmup*) com 300 requisições por segundo durante 60 segundos.

2. Aquecimento (*warmup*) com 1000 requisições por segundo durante 120 segundos.

3. Pausa de 60 segundos.
4. Coleta de lixo (*garbage collection*) manual na máquina servidor.
5. Pausa de 20 segundos.
6. Teste principal com 1000 requisições por segundo durante 600 segundos.
7. Pausa de 60 segundos.
8. Repetição dos passos 1 a 7 para o outro mecanismo de threads, em uma nova instância da JVM.

Cada execução teve duração aproximada de 17,5 minutos, considerando os tempos de aquecimento, pausas e coleta de lixo. Dessa forma, a execução completa dos testes com ambos os mecanismos de *threads* totalizou aproximadamente 35 minutos. O tempo total de execução dos testes foi de cerca de 27 horas.

4.5.2 Teste de carga com aumento gradual (*ramp up*)

O objetivo desse teste foi identificar o ponto em que o servidor começa a apresentar erros de conexão, indicando que atingiu seu limite máximo de requisições processáveis. Para isso, a carga foi aumentada gradualmente até que o servidor não conseguisse mais atender às requisições, o teste foi finalizado quando houve 3 execuções consecutivas com erros de conexão.

O teste foi conduzido da seguinte maneira:

1. **Warmup:**
    a) Aquecimento com 300 requisições por segundo durante 60 segundos.
    b) Pausa de 60 segundos.
    c) Coleta de lixo (*garbage collection*) manual na máquina servidor.
    d) Pausa de 20 segundos.
    e) Repetição dos passos acima mais duas vezes, com a taxa ajustada para 1000 requisições por segundo (limite seguro do servidor previamente testado).
2. **Teste principal:**
    a) Envio de requisições na taxa definida durante 10 segundos.
    b) Pausa de 60 segundos.
    c) Coleta de lixo (*garbage collection*) manual na máquina servidor.
    d) Pausa de 20 segundos.

e) Aumento da taxa em 50 requisições por segundo.

f) Repetição dos passos acima até que o servidor comece a apresentar erros de conexão.

3. Pausa de 60 segundos.

4. Repetição dos passos 1 e 2 para o outro mecanismo de threads, em uma nova instância da JVM.

As execuções desse teste apresentaram duração variável, dependendo do ponto em que o servidor passou a registrar erros de conexão, caracterizando a saturação do sistema. Em média, cada execução utilizando threads virtuais teve duração aproximada de 1 hora e 48 minutos, enquanto as execuções com threads tradicionais duraram cerca de 1 hora e 39 minutos, considerando os períodos de aquecimento, pausas entre testes e operações de coleta de lixo.

Dessa forma, a execução completa dos testes contemplando ambos os mecanismos de *threads* totalizou aproximadamente 3 horas e 27 minutos por repetição. No total, o conjunto de experimentos demandou cerca de 155 horas e 15 minutos de execução contínua.

As metodologias descritas nesta seção fornecem a base experimental necessária para a análise comparativa entre threads tradicionais e threads virtuais. Na seção seguinte, os resultados obtidos a partir dos testes realizados são apresentados e discutidos de forma detalhada.

5 Aplicação / Implementação / Experimento

Descrição passo a passo da execução do estudo. Apresentação de scripts, fluxogramas, diagramas ou imagens ilustrativas

6 Conclusão

A conclusão tem o papel de encerrar o trabalho, retomando de forma resumida o que foi feito e destacando as contribuições obtidas. Ela deve responder à pergunta central da pesquisa e deixar claro o que foi aprendido, comprovado ou desenvolvido.

A conclusão deve fechar o trabalho com chave de ouro, respondendo à pergunta de pesquisa, destacando o que foi aprendido e mostrando como o estudo contribui para a área, além de abrir portas para novas pesquisas.

- Relembre brevemente o objetivo geral do estudo e confirme se ele foi atingido.
- Destaque os resultados mais importantes, sem repetir tabelas ou gráficos.
- Foque no que é mais relevante para responder à questão de pesquisa.
- Interprete brevemente o que os resultados significam no contexto do problema.
- Falar das limitações do estudo é opcional, mas recomendado. Reconheça possíveis limitações que possam ter influenciado os resultados.
- Sugestões para trabalhos futuros. Indique possíveis melhorias ou novas abordagens que podem ser exploradas.

Não introduza informações novas que não tenham aparecido no desenvolvimento. Use tempo passado para descrever o que foi feito.

Referências

AGUAS, D. J. d. O. *Avaliação dos mecanismos de concorrência na API do Java 8*. 2015. Dissertação de Mestrado Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Disponível em: https://www.proquest.com/openview/dfad25d71a865e5f8f207800736152ed/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y. Acesso em: 6 nov. 2025.

BUGHUNT. *A tríade CIA: Confidencialidade, Integridade e Disponibilidade*. 2023. Blog Bughunt. Disponível em: https://blog.bughunt.com.br/triade-cia/. Acesso em: 2 jul. 2025.

CTIR Gov. *CTIR Gov em números*. 2025. Centro de Tratamento de Incidentes de Segurança da Administração Pública Federal. Disponível em: https://www.gov.br/ctir/pt-br/assuntos/ctir-gov-em-numeros. Acesso em: 2 jul. 2025.

GitHub. *State of the Octoverse 2024*. 2024. GitHub Blog. Disponível em: https://github.blog/news-insights/octoverse/octoverse-2024. Acesso em: 21 out. 2025.

GUSTAFSSON, E.; PERSSON, O. N. *Comparison of Concurrency Technologies in Java*. 2024. Masters Thesis Lund University, Department of Computer Science. Disponível em: https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=9166685&fileOId=9166687. Acesso em: 6 nov. 2025.

PANDITA, V. *Benchmarking the Performance of Java Virtual Threads in High-Throughput Workloads*. 2024. Dissertação de Mestrado National College of Ireland, School of Computing. Disponível em: https://norma.ncirl.ie/8134/. Acesso em: 6 nov. 2025.

PECB. *ISO/IEC 27002:2022 Information Security, Cybersecurity and Privacy Protection*. [S.l.], 2022. Disponível em: https://pecb.com/whitepaper/isoiec-270022022--information-security-cybersecurity-and-privacy-protection. Acesso em: 2 jul. 2025.

SILBERSCHATZ, A.; GALVIN, P. B.; GAGNE, G. *Operating System Concepts*. 9. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2018. ISBN 978-1-118-06333-0.

SOUTO, H. F. d. *Uma análise comparativa entre threads e green threads no Java*. 2024. Artigo Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Disponível em: https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/38147/1/HIARLY%20FERNANDES%20DE%20SOUTO-ARTIGO-CI%C3%8ANCIA%20DA%20COMPUTA%C3%87%C3%83O-CEEI%20%282024%29.pdf. Acesso em: 6 nov. 2025.

VERIZON. *2024 Data Breach Investigations Report*. [S.l.], 2024. Disponível em: https://www.verizon.com/business/resources/Ta53/reports/2024-dbir-data-breach-investigations-report.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.