

**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	9
2	Trabalhos Relacionados	11
2.1	Uma análise comparativa entre threads e green threads no Java	11
2.2	Benchmarking the Performance of Java Virtual Threads in High-Throughput Workloads	11
2.3	Comparison of Concurrency Technologies in Java	12
2.4	Avaliação dos mecanismos de concorrência na API do Java 8	12
2.5	Síntese dos Trabalhos Relacionados	13
	Referências	14

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 (Oracle Corporation, 2023).

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 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.

2.1 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.

2.2 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.

2.3 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 nótório que a eficácia das threads virtuais em cenários mistos, evidenciando seu potencial em aplicações que demandam simultaneidade e eficiência de recursos.

2.4 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.

2.5 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.

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&recordId=9166685&fileId=9166687>. Acesso em: 6 nov. 2025.
- Oracle Corporation. *Virtual Threads*. 2023. Oracle Documentation. Disponível em: <https://docs.oracle.com/en/java/javase/21/core/virtual-threads.html>. Acesso em: 27 out. 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%80NCIA%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.