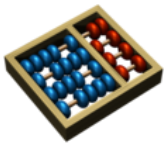
Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Computação
Arquitetura de Computadores II – MO601
Prof. Rodolfo Jardim de Azevedo



Projeto 3

Experimentar ferramentas e coletar dados

Rubens de Castro Pereira

RA 217146

Campinas – SP

Maio de 2023

Índice

1 Introdução

Esse projeto tem o propósito de utilizar ferramentas de avaliação de arquitetura de computadores com coleta de dados de execução de *benchmarks* e programas que exploram aspectos como tempo de processamento, número de instruções executadas e uso de memória RAM e cache. As ferramentas indicadas para avaliação foram SPEC CPU 2017, simulador multi-core Sniper, Perf profiler, Parsec benchmark, Rodinia benchmark, Intel Pin e Dinero cache simulator.

A documentação e arquivos de resultados da execução das ferramentas estão organizados no repositório Github por meio do link https://github.com/rubenscp/RCP-MO601-Project-03.

A Seção 2 apresenta o ambiente de experimentação, a Seção 3 detalhada a execução e resultados alcançados em cada ferramenta, a Seção 4 descreve considerações sobre o aprendizado neste projeto e a Seção 5 apresentas as conclusões do trabalho.

2 Ambiente de Experimentação

O computador utilizado nos experimentos será denominado como “Laptop Rubens”, o sistema operacional base é o Windows 10 Pro 22H2, contudo para a execução de todas as ferramentas foi utilizado o *Windows Subsystem for Linux* (WSL).

Os detalhes da configuração do Laptop Rubens são descritos a seguir:

- Notebook HP Pavilion dm4
- Memória RAM: 16 Gbytes
- SSD: 1 TBytes
- Sistema Operacional utilizado no Windows Subsystem for Linux:
    - Ubuntu 22.04.2 LTS (GNU/Linux 5.15.90.1-microsoft-standard-WSL2 x86_64)
- CPU:
    - Model name: Intel(R) Core(TM) i7-2620M CPU @ 2.70GHz
    - Architecture: x86_64
    - Número de Cores: 2
    - CPU op-mode(s): 32-bit, 64-bit
    - Address sizes: 36 bits physical, 48 bits virtual
    - Byte Order: Little Endian
    - CPU(s): 4
    - Vendor ID: GenuineIntel

- CPU family: 6
- Thread(s) per core: 2
- Core(s) per socket: 2
- L1d cache: 64 KiB (2 instances)
- L1i cache: 64 KiB (2 instances)
- L2 cache: 512 KiB (2 instances)
- L3 cache: 4 MiB (1 instance)

3 Ferramentas experimentadas

As ferramentas utilizadas para avaliações em arquitetura de computadores foram definidas previamente na especificação do projeto 03 cujos resultados de suas execuções são apresentados na sequencia.

3.1 SPEC CPU 2017 benchmark

O SPEC CPU 2017 é um pacote de benchmark que contém a próxima geração de SPECs (*Standard Performance Evaluation Corporation*), pacotes de processamento intensivo de CPU para medição e comparação de desempenho computacional, sobrecarregando o processador do sistema, memória e compilador. Esta ferramenta oferece 4 suites para benchmark considerando velocidade (*speed*) e throughput (*rate*) para números inteiros e em ponto flutuante sendo

- As suites SPECspeed 2017 Integer e SPECspeed 2017 Floating Point são utilizadas para comparação do tempo de processamento em computadores para completar tarefas simples.
- As suites SPECrate 2017 Integer e SPECrate 2017 Floating Point medem a taxa de transferencia (*throughput*) ou o trabalho por unidade de tempo.

3.1.1 Instalação e configuração

O procedimento de instalação e configuração foi realizado conforme as orientações do site da ferramenta (https://www.spec.org/cpu2017/Docs/quick-start.html) e a partir do software obtido previamente.Para instalação da ferramenta foram realizados os principais passos:

- Descompactação do arquivo “spec-cpu-2017.zip”
- Compilação do SPCE CPU 2017:
    - `cd /usr/local/spec_cpu2017`
    - `source shrc`
    - `make`

A execução da ferramenta requer um arquivo de configuração específico o qual pode ser produzido a partir de alguns modelos (templates) conforme o ambiente de experimentação. O modelo de configuração utilizado foi “Example-gcc-linux-x86.cfg” a partir do qual foi criado o arquivo de configuração denominado “**rubens-try1.cfg**” onde alguns parâmetros foram ajustados para os testes como diretórios de trabalho, flags de compilação e de otimização. Para cada suíte de teste, o número de cópias e de threads foi alterado a fim de se executar o benchmark em diversas configurações.

3.1.2 Execução

Os benchmarks foram executados buscando explorar as quatro suítes disponíveis cujos comandos com os parâmetros são apresentados Tabela 1. Alguns programas não foram possíveis serem executados e, portanto, foram excluídos dos testes.

Suite	Comando para execução do SPEC CPU 2017
intspeed	`runcpu --config=rubens-try1 --noreportable --iterations=3 600.perlbench_s 602.gcc_s 605.mcf_s 620.omnetpp_s 623.xalancbmk_s 625.x264_s 631.deepsjeng_s 641.leela_s 648.exchange2_s 998.specrand_is`
intrate	`runcpu --config=rubens-try1 --reportable --iterations=3 intrate`
fpspeed	`runcpu --config=rubens-try1 --noreportable --iterations=3 603.bwaves_s 607.cactuBSSN_s 619.lbm_s 621.wrf_s 628.pop2_s 638.imagick_s 644.nab_s 649.fotonik3d_s 654.roms_s 996.specrand_fs`
fprate	`runcpu --config=rubens-try1 --reportable --iterations=3 fprate`

Tabela 1. Comandos SPEC CPU 2017 executados para as suites intspeed, intrate, fpspeed e fprate.

3.1.3 Resultados

A Tabela 2 apresenta o resumo da experimentação do SPEC CPU 2017 no Laptop Rubens indicando alguns parâmetros da execução, o tempo de execução e a métrica final de execução produzida pela ferramenta. Os resultados detalhados desse experimento podem ser consultados na seção SPEC CPPU 2017 do repositório Github.

A Tabela 3 apresenta a comparação das métricas produzidas no Laptop Rubens e de outros computadores selecionados a partir da lista de resultados disponíveis no site oficial da ferramenta SPEC CPU 2017 (https://www.spec.org/cpu2017/results/cpu2017.html). Os computadores selecionados são aqueles que mais se aproximam das características do computador Laptop Rubens a fim de que as comparações possam ser equilibradas e justas. Destaca-se que as métricas finais de Laptop Rubens foram obtidas em execuções sem exclusiva do computador, isto é, diversas outras tarefas não relacionadas aos benchmarks eram executadas simultaneamente.

Resultados da execução do SPEC CPU 2017						
Suíte	**Cópias**	**Threads**	**Nº Iterações**	**Qtde de Benchmarks**	**Tempo de execução**	**Métrica Final (base)**
intspeed	4	4	3	9	17993 s - 4,99 hs	**3,42**
intspeed	8	8	3	10	18438 s – 5,12 hs	**3,35**
intspeed	16	16	3	10	32523 s - 9,03 hs	**1,96**
intrate	4	4	3	10	38073 s - 10,57 hs	**5,32**
intrate	8	8	3	9	65121 s – 18,08 hs	**5,03**
fpspeed	4	4	3	9	79708 s - 22,14 hs	**3,11**
fprate	4	4	3	13	58396 s - 16,22 hs	**6,25**
fprate	8	1	3	14	124885 s - 34,69 hs	**5,82**
				Duração total das execuções	435137 s – 120,87 hs	

Tabela 2. Suites executadas na ferramenta SPEC CPU 2017 com seus parâmetros da execução, o tempo de execução e a métrica final da execução.

Suite	**Threads**	**Métrica obtida do Laptop Rubens**	**Outros computadores**	**Métrica**
intspeed	4	int_base: 3,42	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i3-8100)	int_base: 7,58
intspeed	8	Int_base: 3,35	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	int_base: 10,6
intspeed	16	int_base: 1,96	Não localizado computador equivalente com thread = 16	---
intrate	4	int_base: 5,32	ASUS Z170M-PLUS Motherboard (Intel Core i7-6700K)	int_base: 23,5
intrate	8	int_base: 5,03	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	int_base: 44,8
fpspeed	4	fp_base: 3,11	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	fp_base: 32,2
fprate	4	fp_base: 6,25	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	fp_base: 42,6

fprate	8	fp_base: 5,82	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	fp_base: 42,6

Tabela 3. Comparação das métricas dos benchmarks executados no laptop Rubens e outros computadores.

3.2 Simulador multi-core Sniper

O simulador multi-core Sniper é uma ferramenta de simulação de código voltada para a modelagem e análise do desempenho de sistemas multi-core explorando o comportamento do sistema para sua otimização.

3.2.1 Instalação e configuração

A instalação da ferramenta foi realizada conforme as instruções contidas no site do simulador (https://snipersim.org/w/Getting_Started) conforme a sequência abaixo.

- Download da ferramenta:
  - wget http://snipersim.org/download/dfbc471f39ee1a74/packages/sniper-latest.tgz
- Atualização de bibliotecas e compilação:
  - `sudo apt-get update`
  - `sudo apt-get install libbz2-dev`
  - `sudo apt-get install bzip2-devel`
  - `sudo apt-get install libboost-dev`
  - `sudo apt-get install boost-devel`
  - `sudo apt-get install libsqlite3-dev`
  - `sudo apt-get install sqlite-devel`
  - `sudo apt-get install xsltproc libxmu-dev`
  - `make -j 2`
- Instalação programas de benchmark adicionais:
  - `wget http://snipersim.org/packages/sniper-benchmarks.tbz`
  - `tar xjf sniper-benchmarks.tbz`
  - `cd benchmarks`
  - `export GRAPHITE_ROOT =/Path/to/sniper`
  - `export BENCHMARKS_ROOT=$(pwd)`

3.2.2 Execução

O Sniper oferece uma coleção de programas de teste cujo execução é realizada por intermédio de scripts previamente preparados. Decido a isso, a execução de um programa pode ser resumida nos passos seguintes:

- Acesso à pasta do programa a ser executado:
    - `cd /usr/local/sniper/test/fft#`
- Execução do simulador Sniper para o programa escolhido:
    - `make run`
- Coleta dos resultados gerados.

Dentre os programas de benchmarks do Sniper, foi selecionado o FFT e, adicionalmente, foram selecionados o RADIX e CHOLESKY com alguns arquivos de entrada:

- Acesso à pasta dos programas adicionais:
    - `cd /usr/local/sniper/projeto03-programs`
- Execução dos programas com o coleta dos tempos de execução:
    - `time ../../run-sniper ./RADIX`
    - `time ../../run-sniper ./CHOLESKY input/tk14.O`
    - `time ../../run-sniper ./CHOLESKY input/d750.O`

Para a obtenção dos tempos de execução dos programas na sua forma nativa, foram utilizados os seguintes comandos:

- `time ./RADIX`
- `time ./CHOLESKY input/tk14.O`
- `time ./CHOLESKY input/d750.O`
- `time ./fft`

3.2.3 Resultados

A Tabela 4 indica os programas selecionados com os tempos de execução do simulador Sniper e de forma nativa com o cálculo do *slowdown* da simulação. Os dados foram extraídos por meio do comando Linux “time” e o tempo utilizado no cálculo foi o “user”, isto é, o tempo da CPU gasto exclusivamente na execução das instruções dos programas expresso em segundos. A Tabela 5 apresenta outras métricas produzidas pelo Sniper.

Os resultados detalhados desse experimento podem ser consultados na seção Sniper do repositório Github.

Programa	Número de instruções simuladas no Sniper	Tempo de execução no simulador Sniper (TSni)	Tempo de execução nativo "Total Time" (TNat)	Slowdown de simulação (TSni / TNat)
radix	46.7M	126,044	0,037	3406,595
cholesky tk14.O	44.3M	134,326	0,013	10332,769
cholesky d750.O	309,8M	763,810	0,065	11750,923
fft	1.2M	4,875	0,002	243,75

Tabela 4. Cálculo de slowdown para programas selecionados.

Programa	Número de Instruções Executadas no Sniper	Instruções por Ciclo (IPC)	Ciclos
radix	46.7M	0,45	104,5M
cholesky tk14.O	44,3M	2,30	19,3M
cholesky d750.O	309,8M	1,81	171,2M
fft	1,6M	1,45	1,1M

Tabela 5. Outras métricas de desempenho coletadas pelo Sniper.

3.3 Perf profiler

Perf profiler é uma ferramenta Linux que coleta e analisa dados de desempenho de programas ou do sistema operacional.

3.3.1 Instalação e configuração

O Perf é um utilitário nativo do Linux e na versão Ubuntu ele já estava disponível, cuja versão é a 5.15.90.1.g4aeb7776ebf6.

3.3.2 Execução

A execução do Perf para os programas selecionados foi conforme segue:

- Acesso à pasta dos programas a serem avaliados pelo Perf:
    - `cd /usr/local/perf-benchmark/`

- Execução do Perf:

```
o  time perf stat ./RADIX
o  time perf stat ./CHOLESKY input/tk14.O
o  time perf stat ./CHOLESKY input/d750.O
o  time perf stat ./fft
```

3.3.3 Resultados

A Tabela 6 apresenta as mesmas métricas coletadas de forma nativa pelo Perf aplicados aos programas RADIX, CHOLESKY e FFT, sendo as mesmas métricas coletadas pelo Sniper.

Os resultados detalhados desse experimento podem ser consultados na seção Perf do repositório Github.

Programa	Número de Instruções Executadas pelo Perf	Instruções por Ciclo (IPC)	Ciclos	Tempo de execução do Perf (time > user)
radix	48932918 ~ 49M	0,45	109497100 ~ 109M	0,048
cholesky tk14.O	47234927 ~ 47M	1,46	32377847 ~ 32,4M	0,029
cholesky d750.O	319675663 ~ 319,7M	1,80	177815525 ~ 177,8M	0,063
fft	2803179 ~ 2,8M	0,71	3938641 ~ 3,9M	0,003

Tabela 6. Métricas coletadas pelo Perf.

A comparação entre as métricas produzidas pelo Sniper e Perf demonstrou que o comportamento em ambas ferramentas está coerente sendo que:

- para a métrica “Número de Instruções Executadas”, Sniper apresentou valores menores do que Perf em todos os programas;
- para a métrica “Instruções por Ciclo (IPC)”, Sniper apresentou valores maiores do que Perf em todos os programas;
- para a métrica “Ciclos”, Sniper apresentou valores menores do que Perf em todos os programas;
- para a métrica “Tempo de Execução” na ferramenta, Sniper apresentou valores muito menores do que Perf em todos os programas.

Assim essas diferenças nas métricas entre as duas ferramentas ocorre, pois o Sniper realiza a simulação de uma arquitetura sobre determinadas configurações e o Perf coleta dados de uma execução do programa.

3.4 PARSEC Benchmark Suite 3.0

O PARSEC (*Princeton Application Repository for Shared-Memory Computers*) é um conjunto de benchmark composto por programas *multithread* com o propósito de possibilitar estudos de desempenho em computadores com múltiplos processadores.

3.4.1 Instalação e configuração

A instalação do Parsec 3.0 foi realizada conforme as instruções na documentação da ferramenta disponíveis no site:

- Visão geral: https://parsec.cs.princeton.edu/overview.htm
- Download da ferramenta: https://parsec.cs.princeton.edu/download/3.0/

Alguns ajustes foram necessários para a compilação como a adição do flag `-std=c++11` no arquivo `gcc.bldconf` localizado na pasta `config`. Antes de iniciar a compilação, execute os passos a seguir:

- `cd /usr/local/parsec-3.0`
- `source env.sh`

A compilação dos programas (apps) que acompanham a ferramenta foi realizada e o resultado é na Tabela 7 indicando o sucesso na compilação ou o erro ocorrido.

Pacote	Comando para compilação	Resultado da Compilação
blackscholes	parsecmgmt -a build -p blackscholes	Sucesso
bodytrack	parsecmgmt -a build -p bodytrack	Sucesso
fluidanimate	parsecmgmt -a build -p fluidanimate	Sucesso
freqmine	parsecmgmt -a build -p freqmine	Sucesso
vips	parsecmgmt -a build -p vips	Sucesso
facesim	parsecmgmt -a build -p facesim	make[2]: *** [/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc/Public_Library/Makefile.common:407: obj/Collisions_And_Interactions/COLLISION_BODY_LIST_3D.o] Error 1 make[2]: Leaving directory '/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc/Public_Library' make[1]: *** No rule to make target '/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc/lib/libPhysBAM.a', needed by 'facesim'. Stop. make[1]: Leaving directory '/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc/Benchmarks/facesim' make: *** [Makefile:16: all] Error 2 [PARSEC] Error: 'env version=pthreads PHYSBAM=/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc CXXFLAGS=-O3 -g -funroll-loops -fprefetch-loop-arrays -fpermissive -fno-exceptions -std=c++11 -static-libgcc -Wl,--hash-style=both,--as-needed -DPARSEC_VERSION=3.0-beta-20150206 -fexceptions /usr/bin/make' failed.

ferret	parsecmgmt -a build -p ferret	make: *** [Makefile:108: /usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/ferret/obj/amd64-linux.gcc/parsec/obj/LSH_query.o] Error 1 [PARSEC] Error: 'env version=pthreads CFLAGS=-I/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/gsl/inst/amd64-linux.gcc/include -I/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/libjpeg/inst/amd64-linux.gcc/include -O3 -g -funroll-loops -fprefetch-loop-arrays -static-libgcc -Wl,--hash-style=both,--as-needed -DPARSEC_VERSION=3.0-beta-20150206 LDFLAGS=-L/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/gsl/inst/amd64-linux.gcc/lib -L/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/libjpeg/inst/amd64-linux.gcc/lib -L/usr/lib64 -L/usr/lib /usr/bin/make' failed.
raytrace	parsecmgmt -a build -p raytrace	No package 'xext' found Consider adjusting the PKG_CONFIG_PATH environment variable if you installed software in a non-standard prefix. Alternatively, you may set the environment variables XLIBGL_CFLAGS and XLIBGL_LIBS to avoid the need to call pkg-config. See the pkg-config man page for more details. [PARSEC] Error: 'env ./configure --with-driver=xlib --enable-glut --enable-static --disable-shared --prefix=/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/mesa/inst/amd64-linux.gcc' failed.
swaptions	parsecmgmt -a build -p swaptions	| ^~~~~ make[1]: *** [../../build/Makefile.tbbmalloc:70: proxy.o] Error 1 make[1]: Leaving directory '/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/tbblib/obj/amd64-linux.gcc/build/linux_intel64_gcc_cc11.3.0_libc2.35_kernel5.15.90.1_debug' make: *** [Makefile:49: tbbmalloc] Error 2 [PARSEC] Error: 'env compiler=gcc PATH=/usr/bin:/usr/local/parsec-3.0/bin:/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/usr/sbin:/usr/bin:/sbin:/bin:/snap/bin:/usr/local/parsec-3.0/bin CXXFLAGS=-O3 -g -funroll-loops -fprefetch-loop-arrays -fpermissive -fno-exceptions -static-libgcc -Wl,--hash-style=both,--as-needed -DPARSEC_VERSION=3.0-beta-20150206 -fexceptions /usr/bin/make' failed.

Tabela 7. Resultado da compilação dos programas no PARSEC 3.0.

3.4.2 Execução

O PARSEC possibilita definir a região de interesse (ROI – *Region Of Interest*) na execução dos benchmarks baseado em seis tipos de entrada possíveis: *test, simdev, simsmall, simmedium, simlarge* e *native*. Além disso, existem outros parâmetros como “-n” que indica o número mínimo de threads na execução. O valor default de “n” é 1.

A execução dos programas no Parsec foi realizada com o parâmetro “native” e variando o número de threads (N) cujos comandos de execução estão apresentados na Tabela 12 do apêndice desse relatório.

Os resultados detalhados desse experimento podem ser consultados na seção Parsec do repositório Github.

3.4.3 Resultados

Para avaliação dos resultados da execução, foi utilizada a métrica do tempo de execução das instruções do programa (*user*) com entrada nativa (*native*) e explorando diversos números de threads (1, 2, 4, 8 e 16).

A Tabela 8 apresenta os tempos de execução dos programas executados pelo Parsec com entrada "native" combinado com variado número de threads.

Programa	thread = 1	thread = 2	thread = 4	thread = 8	thread = 16
blackscholes	119,691 s	82,85 s	72,226 s	75,989 s	90,066 s
vips	133,075 s	88,737 s	76,509 s	79,51 s	82,772 s
bodytrack	151,276 s	98,623 s	86,545 s	86,493 s	90,33 s
fluidanimate	405,59 s	320,64 s	280,12 s	286,658 s	293,435 s
freqmine	609,146 s	395,635 s	324,965 s	313,262 s	351,112 s

Tabela 8. Execução do Parsec nos programas de benchmark com o parâmetro de entrada "-i native" combinado com os diversos valores de número de Threads "-n " apresentando os tempos de execução.

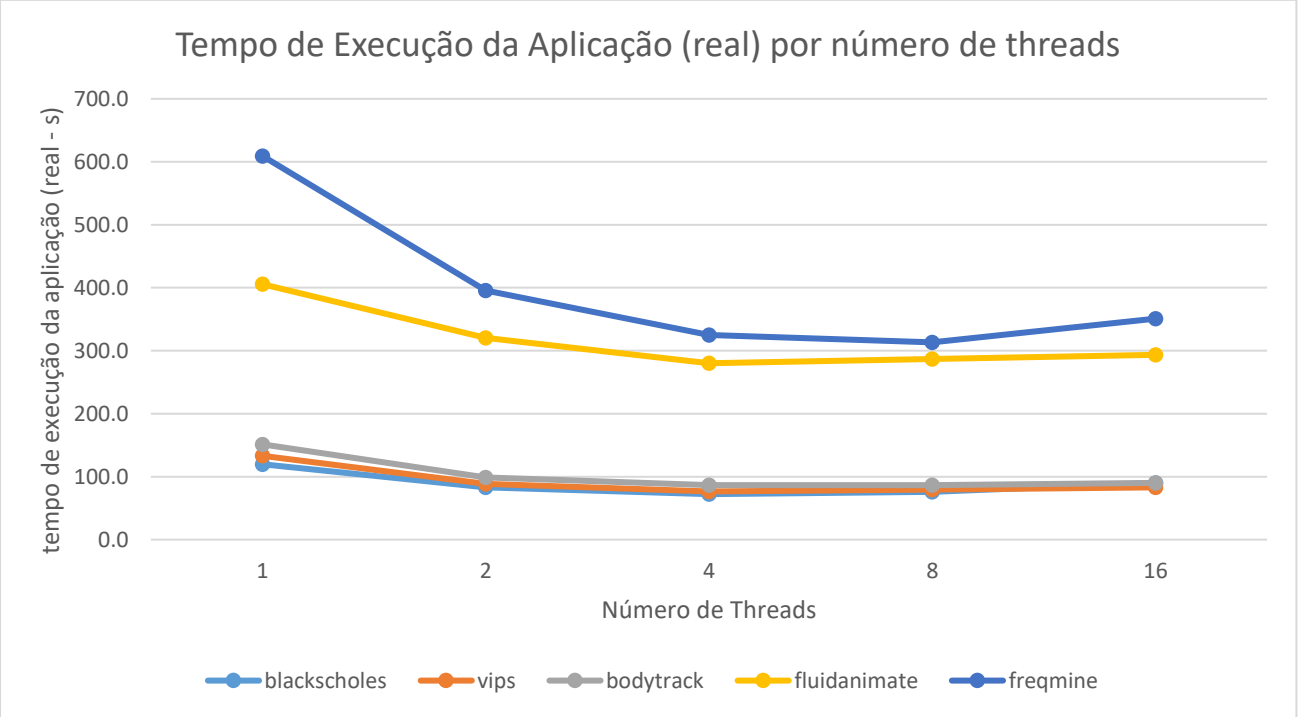


Figura 1. Gráfico do Tempo de execução (real) das instruções dos programas em função do número de threads.

3.5 Rodinia benchmark

O Rodinia Benchmark é uma ferramenta destinada a infraestrutura de computação heterogênea com implementações com OpenMP, OpenCL e CUDA.

3.5.1 Instalação e configuração

A instalação do Rodinia ocorreu conforme as instruções na documentação da ferramenta disponíveis no site e no documento “README”:

- Visão geral: https://rodinia.cs.virginia.edu/doku.php
- Download da ferramenta: http://lava.cs.virginia.edu/Rodinia/download.htm

A instalação do CUDA foi realizada seguinte os passos a seguir:

- Site: https://linuxhint.com/install-cuda-on-ubuntu-22-04-lts/
    - `sudo apt update`
    - `sudo apt install build-essential`
    - `gcc --version`
    - `g++ --version`
    - `sudo apt install nvidia-cuda-toolkit nvidia-cuda-toolkit-gcc`
    - `nvcc –version – a checagem da instalação é feita por meio da mensagem abaixo.`
        - `“CUDA version 11.5 is installed on our Ubuntu machine.”`
- Ajuste no make.config indicando o path para os binários do CUDA:
    - vi common/make.config
        - alterar `CUDA_DIR = /usr`

A compilação do Rodinia foi realizada por meio dos comandos que seguem:

- `make clean`
- `make CUDA`
- `make OMP`
- `make OPENCL`

3.5.2 Execução

A execução do Rodínia foi realizada acessando cada pasta de benchmark e executando o script destinado a esse fim. O resultado da execução de um benchmark é um arquivo denominado `result.txt`:

Acessar a pasta do Rodinia:

- `cd /usr/local/rodinia_3.1`

Execução do Rodínia nos programas que compilaram com sucesso em cada especificação:

- Acesso à pasta da especificação `opemmp` com a execução do programa e coleta de dados:

```
o  cd openmp
o  cd bfs                  depois      time ../run
o  cd ../cfd               depois      time ../run
o  cd ../heartwall         depois      time ../run
o  cd ../hotspot           depois      time ../run
o  cd ../kmeans            depois      time ../run
o  cd ../lavaMD            depois      time ../run
o  cd ../leukocyte         depois      time ../run
o  cd ../nn                depois      time ../run
o  cd ../particle_filter   depois      time ../run
o  cd ../pathfinder        depois      time ../run
o  cd ../srad_v1           depois      time ../run
o  cd ../srad_v2           depois      time ../run
```

- Acesso à pasta da especificação `cuda` com a execução do programa e coleta de dados:

```
o  cd cuda
o  cd bfs                  depois      time ../run
o  cd ../heartwall         depois      time ../run
o  cd ../hotspot           depois      time ../run
```

3.5.3 Resultados

A Tabela 9 apresenta os tempos de execução das instruções dos programas possíveis nas implementações OpenMp e Cuda.

Programa	**Tempo de execução do programa (time > user)**	
	Opemmp	**Cuda**
bfs	0m2.164s	0m1.718s
heartwall	0m35.370s	0m0.154s
hotspot	0m1.630s	0m0.293s
cfd	16m39.135s	---
kmeans	0m0.001s	---
lavaMD	0m11.815s	---
leukocyte	0m41.787s	---
nn	0m4.560s	---
particle_filter	0m1.368s	---

pathfinder	0m2.436s	---
srad_v1	0m4.153s	---
srad_v2	0m0.588s	---

Tabela 9. Execução do Rodínia em programas das implementações OpenMp e Cuda com os respectivos tempos de execução.

3.6 Intel Pin

Intel Pin é uma ferramenta de instrumentação dinâmica para as arquiteturas do conjunto de instruções IA-32, x86-64 e MIC permitindo a análise de programas.

3.6.1 Instalação e configuração

A instalação do Intel Pin ocorreu conforme as orientações contidas do documento “README”:

- Site oficial: https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/tool/pin-a-dynamic-binary-instrumentation-tool.html
- Download:
  - wget https://software.intel.com/sites/landingpage/pintool/downloads/pin-3.27-98718-gbeaa5d51e-gcc-linux.tar.gz

3.6.2 Execução

Para a execução, foram selecionadas algumas ferramentas do PinTools conforme segue:

- Acesso à pasta raiz do Intel Pin:
  - `cd /usr/local/pin-3.27-98718-gbeaa5d51e-gcc-linux/`
- Ferramenta `inscount0.so` localizado na pasta `ManualExamples`:
  - `../../../pin -t obj-intel64/inscount0.so -- ../../../projeto03-programs/radix/RADIX`
  - `../../../pin -t obj-intel64/inscount0.so -- ../../../projeto03-programs/cholesky/CHOLESKY ../../../projeto03-programs/cholesky/input/tk14.O`
  - `../../../pin -t obj-intel64/inscount0.so -- ../../../projeto03-programs/cholesky/CHOLESKY ../../../projeto03-programs/cholesky/input/d750.O`
  - `../../../pin -t obj-intel64/inscount0.so -- ../../../projeto03-programs/fft/fft`
- Ferramenta `opcodemix` localizado na pasta `SimpleExamples`:

- `../../../pin -t obj-intel64/opcodemix.so -- ../../../projeto03-programs/radix/RADIX`
- `../../../pin -t obj-intel64/opcodemix.so -- ../../../projeto03-programs/cholesky/CHOLESKY ../../../projeto03-programs/cholesky/input/tk14.O`
- `../../../pin -t obj-intel64/opcodemix.so -- ../../../projeto03-programs/cholesky/CHOLESKY ../../../projeto03-programs/cholesky/input/d750.O`
- `../../../pin -t obj-intel64/opcodemix.so -- ../../../projeto03-programs/fft/fft`

- Ferramenta `proccount.so` localizado na pasta `ManualExamples`:

  - `../../../pin -t obj-intel64/proccount.so -- ../../../projeto03-programs/radix/RADIX`
  - `../../../pin -t obj-intel64/proccount.so -- ../../../projeto03-programs/cholesky/CHOLESKY ../../../projeto03-programs/cholesky/input/tk14.O`
  - `../../../pin -t obj-intel64/proccount.so -- ../../../projeto03-programs/cholesky/CHOLESKY ../../../projeto03-programs/cholesky/input/d750.O`
  - `../../../pin -t obj-intel64/proccount.so -- ../../../projeto03-programs/fft/fft`

- Ferramenta `pinatrace.so` localizado na pasta `ManualExamples`:

  - `../../../pin -t obj-intel64/pinatrace.so -- ../../../projeto03-programs/radix/RADIX`
  - `../../../pin -t obj-intel64/pinatrace.so -- ../../../projeto03-programs/cholesky/CHOLESKY ../../../projeto03-programs/cholesky/input/tk14.O`
  - `../../../pin -t obj-intel64/pinatrace.so -- ../../../projeto03-programs/cholesky/CHOLESKY ../../../projeto03-programs/cholesky/input/d750.O`
  - `../../../pin -t obj-intel64/pinatrace.so -- ../../../projeto03-programs/fft/fft`

3.6.3 Resultados

A Tabela 10 apresenta os resultados da execução das ferramentas PinTools aplicadas aos programas selecionados nas ferramentas anteriores. Cada ferramenta apresenta um resultado específico de acordo com sua funcionalidade.

Programa	**inscount0**	**opcodemix**	**proccount**	**pinatrace**
	Realiza a contagem de instruções executadas pelo programa	Produz estatística do número de vezes instruções foram executadas	Produz estatística do número de chamadas às funções ou procedimentos do programa	Cria arquivo de *trace* do programa
radix	46644602 ~ 46,6M	396 instruções	83 procedimentos	4810142 linhas de trace ~ 4,8M

cholesky tk14.O	44295564 ~ 44M	465 instruções	185 procedimentos	13715252 linhas de trace ~ 13,7M
cholesky d750.O	309828473 ~ 309M	465 instruções	180 procedimentos	97326228 linhas de trace ~ 97M
fft	1667517 ~ 166 mil	441 instruções	184 procedimentos	834499 linhas de trace ~ 834mil

Tabela 10. Comandos para execução do PinTools nos programas selecionados com os respectivos resultados.

3.7 Dinero cache simulator

A ferramenta Dinero é um simulador de cache de 4ª geração de simuladores.

Os programas utilizados nessa ferramenta foram o RADIX e o fft. Vários parâmetros foram avaliados considerando valores distintos para cache L1 (instrução e data), combinados com cache L2 e L3 (unificadas).

3.7.1 Instalação e configuração

A instalação do DineroIV foi realizada observando as instruções contidas no site da ferramenta:

- Site oficial: https://pages.cs.wisc.edu/~markhill/DineroIV/
- Site complementar:
  - http://thedarklair.free.fr/prague/2006/XE36APS%20-%20Architecture%20Of%20Computer%20Systems/Seminars/10/cache_en.htm

A instalação do DineroIV foi realizada segundo os passos abaixo:

- Download:
  - `git clone https://github.com/zjutoe/DineroIV.git`
- Build
  - Acessar a pasta `d4-7`
  - `./configure`
  - `make`

3.7.2 Execução

Para a experimentação no dineroIV, foi utilizado o programa RADIX no formato “din” requerido pela ferramenta, conforme as etapas que seguem:

- Geração do arquivo de trace do programa RADIX por meio do PinTool `pinatrace`:

- ../../../pin -t obj-intel64/pinatrace.so -- ../../../projeto03-programs/radix/RADIX

- Conversão do arquivo de trace gerado na etapa anterior para o formato `din` por meio de um programa conversor python, o qual realiza o reposicionamento dos campos (tipo de acessos, endereço e tamanho) para posterior execução pelo simulador dineroIV:
  - python3 `gera_arquivo_din.py`

O código fonte do programa `gera_arquivo_din.py` é apresentado a seguir.

```
# Conversor from trace file (pinatrace.so) to din format required to DineroIV benchmark
tool.

input_filename  = 'radix.trace.out'
output_filename = 'radix.din'

output_file = open(output_filename, 'w', newline='\n', encoding='utf-8')

with open(input_filename, 'r') as file:
    text = file.readlines()

count = 0
for input_line in text:
    try:
        tokens = input_line.split()
        output_line = tokens[1] + " " + tokens[0].replace(':', '') \
                      + " " + tokens[2] + "\n"
        output_file.writelines(output_line)
        count += 1
    except Exception:
        pass

file.close()
```

- Execução do dineroIV utilizando como entrada o arquivo no formato “din” gerado na etapa anterior e em diversas configurações de cache L1, L2 e L3.

```
./dineroIV
-l1-isize [P] -l1-dsize [P] -l1-ibsize [B] -l1-dbsize [B] -l1-iassoc [N] -l1-dassoc[N]
-l2-usize [P] -l2-ubsize [B] -l2-uassoc [N]
-l3-usize [P] -l3-ubsize [B] -l3-uassoc [N] -informat p
< [program.din]  > results/dinero-result-[programa.din]-EEE.txt
```

Nessa ferramenta foram testadas diferentes configurações de cache l1, l2 e l3 a fim de se obter a melhor configuração. As configurações com os diferentes tamanhos das caches estão descritas na tabela abaixo e para a escolha foi utilizada a métrica *demand miss rate*

3.7.3 Resultados

Para uma melhor avaliação dos resultados experimentados, a configuração do Laptop Rubens possui a seguinte configuração de cache:

- L1d cache: 64 KB
- L1i cache: 64 KB
- L2 cache: 512 KB
- L3 cache: 4 MB

Os resultados obtidos das diversas execuções foram

A Tabela 11 apresenta os comandos utilizados na execução dos programas RADIX e fft com os diversos parâmetros de execução relacionados às caches L1, L2 e L3.

#	L1 cache						L2 cache			L3 cache			Demand Miss Rate			
	isize	dsize	ibsize	dbsize	iassoc	dassoc	usize	ubsize	uassoc	usize	ubsize	uassoc	L1 instr	L1 dados	L2 unif	L3 Unif
1	1k	1k	2	2									0,6667	0,3749		
2	1k	1k	4	4									0,5	0,463		
3	1k	1k	8	8									0,3333	0,5548		
4	1k	1k	16	16									0,2	0,5654		
5	1k	1k	32	32									0,1111	0,6258		
6	1k	1k	32	2									0,1111	0,3749		
7	2k	2k	32	2									0,1111	0,1926		
8	4k	4k	32	2									0,1111	0,1822		
9	8k	8k	32	2									0,1111	0,1367		
10	16k	16k	32	2									0,1111	0,1367		
11	32k	32k	32	2									0,1111	0,1342		
12	32k	32k	32	2	2	2							0,1111	0,0829		
13	32k	32k	32	2	4	4							0,1111	0,0725		
14	32k	32k	32	2	8	8							0,1111	0,0555		
15	32k	32k	32	2	16	16							0,1111	0,0282		
16	32k	32k	32	2	32	32							0,1111	0,0325		
17	32k	32k	32	2	32	32	1k	2	32				0,1111	0,0325	0,9999	
18	32k	32k	32	2	32	32	2k	2	32				0,1111	0,0325	0,9999	
18	32k	32k	32	2	32	32	4k	2	32				0,1111	0,0325	0,9998	
20	32k	32k	32	2	32	32	8k	2	32				0,1111	0,0325	0,9996	
21	32k	32k	32	2	32	32	16k	2	32				0,1111	0,0325	0,9994	
22	32k	32k	32	2	32	32	32k	2	2				0,1111	0,0325	0,9997	
23	32k	32k	32	2	32	32	32k	2	4				0,1111	0,0325	0,9995	
24	32k	32k	32	2	32	32	32k	2	8				0,1111	0,0325	0,9992	
25	32k	32k	32	2	32	32	32k	2	16				0,1111	0,0325	0,999	
26	32k	32k	32	2	32	32	32k	2	32				0,1111	0,0325	0,9991	
27	32k	32k	32	2	32	32	64k	2	16				0,1111	0,0325	0,9977	
28	32k	32k	32	2	32	32	128k	2	16				0,1111	0,0325	0,9969	
29	32k	32k	32	2	32	32	256k	2	16				0,1111	0,0325	0,9958	
30	32k	32k	32	2	32	32	512k	2	16				0,1111	0,0325	0,9947	
31	32k	32k	32	2	32	32	512k	2	16	1m	2		0,1111	0,0325	0,9947	0,999
32	32k	32k	32	2	32	32	512k	2	16	2m	2		0,1111	0,0325	0,9947	0,998
33	32k	32k	32	2	32	32	512k	2	16	4m	2		0,1111	0,0325	0,9947	0,9979
34	32k	32k	32	2	32	32	512k	2	16	4m	2	16	0,1111	0,0325	0,9947	0,9978
35	32k	32k	32	2	32	32	512k	2	32	4m	2	32	0,1111	0,0325	0,9927	0,9999
36	32k	32k	32	2	32	32	512k	32	16	4m	32	16	0,1111	0,0325	0,9037	0,9776
37	32k	32k	32	2	32	32	512k	256	16	4m	256	16	0,1111	0,0325	0,1222	0,8454
38	32k	32k	32	2	32	32	512k	512	128	4m	512	128	0,1111	0,0325	0,0559	0,9989
39	32k	32k	32	2	32	32	512k	1k	128	4m	1k	128	0,1111	0,0325	0,0279	0,9992
40	32k	32k	32	2	32	32	512k	4k	128	4m	4k	128	0,1111	0,0325	0,007	0,999
41	32k	32k	32	2	32	32	512k	4k	128	4m	8k	128	0,1111	0,0325	0,007	0,4998
42	32k	32k	32	2	32	32	512k	4k	128	4m	16k	128	0,1111	0,0325	0,007	0,2501
43	32k	32k	32	2	32	32	512k	4k	128	4m	32k	128	0,1111	0,0325	0,007	0,1253
44	32k	32k	32	2	32	32	512k	8k	32	4m	32k	32	0,1111	0,0325	0,0035	0,2461
45	**32k**	**32k**	**32**	**2**	**32**	**32**	**512k**	**8k**	**32**	**4m**	**32k**	**128**	**0,1111**	**0,0325**	**0,0035**	**0,2461**

Tabela 11. Estudo de configurações de cache por meio da ferramenta Dinero Cache Simulator aplicado ao programa RADIX.

Os resultados detalhados desse experimento podem ser consultados na seção Dinero do repositório Github.

Decisão sobre a melhor configuração de cache entre as testadas.

- **A melhor configuração de cache seria aquela com menor índice de miss?**

O tamanho de uma memória cache deve ser: Suficientemente pequeno para que o custo total médio por bit seja próximo do custo por bit da memória principal; Suficientemente grande para que o tempo médio de acesso à memória seja próximo ao tempo de acesso da memória cache. (http://www.univasf.edu.br/~leonardo.campos/Arquivos/Disciplinas/Org_Arq_I_2008_1/Org_Arq_Comp_2008_Aula_05.pdf)

4 Considerações sobre o aprendizado nesse projeto

Esse projeto propôs um desafio diferente dos projetos anteriores devido ao uso de ferramentas de terceiros as quais deveriam ser instaladas, configuradas, compiladas e por fim, executadas no ambiente operacional escolhido. Algumas dessas ferramentas foram disponibilizadas para determinadas versões de compiladores e bibliotecas. Devido a essa diversidade de versões, surgiram vários desafios que precisam ser transpostos para se iniciar a tarefa de coleta dados e avaliar desempenho de benchmarks e programas. No meu caso, estimo que me dediquei a mais de 50% do tempo do projeto em tarefas de configuração e compilação das ferramentas, algo que poderia ser reduzido caso existisse documentação mais amigável e direcionada a determinado sistema operacional em uma certa versão. Apesar desse tempo, muito aprendizado foi obtido ao se conseguir ter todas as sete ferramentas aptas para o uso nas avaliações.

Outro aspecto de aprendizagem é o conhecimento que se consolida com experimentos reais de simulação demonstrando a importância na área de arquitetura de computadores para a inovação. Essas ferramentas de simulação auxiliam novos projetos de processadores e de seus componentes na etapa de validação.

Por fim, creio que ao final desse projeto consegui ter uma visão mesmo que superficial dessas ferramentas com possibilidade de aprofundamento em uma ou outra ferramenta caso necessário.

5 Apêndice

5.1 PARSEC Benchmark Suite 3.0 *

Núm. da Execução	Pacote	Entrada	N	Comando de execução do pacote de Benchmark
101	blackscholes	native	1	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native -n 1 > results/parsec-result-101-blackscholes-native-n1.txt
102	blackscholes	native	2	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native -n 2 > results/parsec-result-102-blackscholes-native-n2.txt

103	blackscholes	native	4	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native -n 4 > results/parsec-result-103-blackscholes-native-n4.txt
104	blackscholes	native	8	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native -n 8 > results/parsec-result-104-blackscholes-native-n8.txt
105	vips	native	1	parsecmgmt -a run -p vips -i native -n 1 > results/parsec-result-105-vips-native-n1.txt
106	vips	native	2	parsecmgmt -a run -p vips -i native -n 2 > results/parsec-result-106-vips-native-n2.txt
107	vips	native	4	parsecmgmt -a run -p vips -i native -n 4 > results/parsec-result-107-vips-native-n4.txt
108	vips	native	8	parsecmgmt -a run -p vips -i native -n 8 > results/parsec-result-108-vips-native-n8.txt
109	bodytrack	native	1	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i native -n 1 > results/parsec-result-109-bodytrack-native-n1.txt
110	bodytrack	native	2	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i native -n 2 > results/parsec-result-110-bodytrack-native-n2.txt
111	bodytrack	native	4	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i native -n 4 > results/parsec-result-111-bodytrack-native-n4.txt
112	bodytrack	native	8	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i native -n 8 > results/parsec-result-112-bodytrack-native-n8.txt
113	fluidanimate	native	1	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native -n 1 > results/parsec-result-113-fluidanimate-native-n1.txt
114	fluidanimate	native	2	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native -n 2 > results/parsec-result-114-fluidanimate-native-n2.txt
115	fluidanimate	native	4	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native -n 4 > results/parsec-result-115-fluidanimate-native-n4.txt
116	fluidanimate	native	8	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native -n 8 > results/parsec-result-116-fluidanimate-native-n8.txt
117	freqmine	native	1	parsecmgmt -a run -p freqmine -i native -n 1 > results/parsec-result-117-freqmine-native-n1.txt
118	freqmine	native	2	parsecmgmt -a run -p freqmine -i native -n 2 > results/parsec-result-118-freqmine-native-n2.txt
119	freqmine	native	4	parsecmgmt -a run -p freqmine -i native -n 4 > results/parsec-result-119-freqmine-native-n4.txt
120	freqmine	native	8	parsecmgmt -a run -p freqmine -i native -n 8 > results/parsec-result-120-freqmine-native-n8.txt
121	splash2	native	1	parsecmgmt -a run -p splash2 -i native -n 1 > results/parsec-result-121-splash2-native-n1.txt
122	splash2	native	2	parsecmgmt -a run -p splash2 -i native -n 2 > results/parsec-result-122-splash2-native-n2.txt
123	splash2	native	4	parsecmgmt -a run -p splash2 -i native -n 4 > results/parsec-result-123-splash2-native-n4.txt
124	splash2	native	8	parsecmgmt -a run -p splash2 -i native -n 8 > results/parsec-result-124-splash2-native-n8.txt
125	splash2x	native	1	parsecmgmt -a run -p splash2x -i native -n 1 > results/parsec-result-125-splash2x-native-n1.txt
126	splash2x	native	2	parsecmgmt -a run -p splash2x -i native -n 2 > results/parsec-result-126-splash2x-native-n2.txt
127	splash2x	native	4	parsecmgmt -a run -p splash2x -i native -n 4 > results/parsec-result-127-splash2x-native-n4.txt
128	splash2x	native	8	parsecmgmt -a run -p splash2x -i native -n 8 > results/parsec-result-128-splash2x-native-n8.txt
129	blackscholes	native	16	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native -n 16 > results/parsec-result-129-blackscholes-native-n16.txt

130	vips	native	16	parsecmgmt -a run -p vips -i native -n 16 > results/parsec-result-130-vips-native-n16.txt
131	bodytrack	native	16	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i native -n 16 > results/parsec-result-131-bodytrack-native-n16.txt
132	fluidanimate	native	16	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native -n 16 > results/parsec-result-132-fluidanimate-native-n16.txt
133	freqmine	native	16	parsecmgmt -a run -p freqmine -i native -n 16 > results/parsec-result-133-freqmine-native-n16.txt
134	splash2	native	16	parsecmgmt -a run -p splash2 -i native -n 16 > results/parsec-result-134-splash2-native-n16.txt
135	splash2x	native	16	parsecmgmt -a run -p splash2x -i native -n 16 > results/parsec-result-135-splash2x-native-n16.txt

Tabela 12. Execução do PARSEC nos vários programas com variações na entrada e número de threads.