

Análise de Resultados

CHAVES, Diogo Tuler

Aluno de graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais

1. Introdução

1.1. Máquina dos testes

Esse trabalho foi realizado em um “Lenovo Lenovo IdeaPad S145-15 IWL” com o processador “Intel® Core™ i5-8265 U CPU @ 1.60GHz × 8” com “NV 118 / Mesa Intel® UHD Graphics 620 (WHL GT2)”. Além disso, vale ressaltar que o sistema operacional é “Ubuntu 22.04.2 LTS 64-bit”

1.2. Códigos

Os códigos estão na linguagem C seguindo o modelo de práticas da obra “Clean Code” do autor Robert Cecil Martin. A seguir está a modularização usada no código:

```
.
├── bin
├── include
│   ├── Factorial.h
│   ├── Fibonacci.h
│   └── Time_Counter.h
├── Makefile
├── obj
├── src
│   ├── Factorial.c
│   ├── Fibonacci.c
│   ├── main.c
│   └── Time_Counter.c
```

1.3. Testes

Para análise de resultados de tempo de relógio, usuário e sistemas foram testados valores entre 1 e 18 nas funções abaixo. Já o gprof foi executado para o valor 20 em todas as funções abaixo. Adicionando a função seno as funções recursivas foram rodadas com o valor 20.

<pre>//Fibonacci recursive long long int Fibonacci_Recursive(long int n); //Fibonacci iterative long long int Fibonacci_Iterative(long int n);</pre>	<pre>//Factorial Recursive long long int Factorial_Recursive(long int n); //Factorial Iterative long long int Factorial_Iterative(long int n);</pre>
---	---

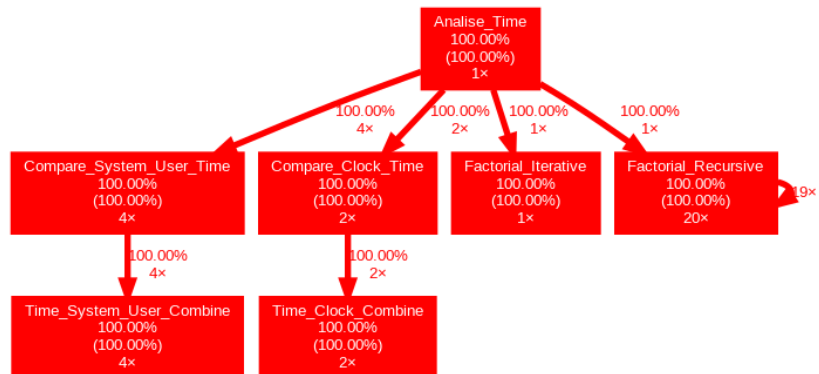
2. Resultados

2.1. Fibonacci

2.1.1. Tempos de relógio, usuário e sistema

<p>Fatorial de 1</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 1</p> <p>Tempo de Relógio = 1.032e-07s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 1</p> <p>Tempo de Relógio = 3.38e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 4</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 24</p> <p>Tempo de Relógio = 4.26e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 24</p> <p>Tempo de Relógio = 3.38e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 7</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 5040</p> <p>Tempo de Relógio = 6.74e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 5040</p> <p>Tempo de Relógio = 3.31e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>
<p>Fatorial de 2</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 2</p> <p>Tempo de Relógio = 5.46e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 2</p> <p>Tempo de Relógio = 3.21e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 5</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 120</p> <p>Tempo de Relógio = 7.83e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 120</p> <p>Tempo de Relógio = 4.85e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 8</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 40320</p> <p>Tempo de Relógio = 7.83e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 40320</p> <p>Tempo de Relógio = 4.5e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 1e-07s</p>
<p>Fatorial de 3</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 6</p> <p>Tempo de Relógio = 4.4e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 6</p> <p>Tempo de Relógio = 3.15e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 6</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 720</p> <p>Tempo de Relógio = 7.02e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 720</p> <p>Tempo de Relógio = 5.16e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 9</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 362880</p> <p>Tempo de Relógio = 7.9e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 362880</p> <p>Tempo de Relógio = 3.69e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>
<p>Fatorial de 10</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 3628800</p> <p>Tempo de Relógio = 7.63e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 3628800</p> <p>Tempo de Relógio = 3.84e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 1e-07s</p>	<p>Fatorial de 13</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 6227020800</p> <p>Tempo de Relógio = 5.18e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 6227020800</p> <p>Tempo de Relógio = 3.48e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 16</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 20922789888000</p> <p>Tempo de Relógio = 8.23e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 20922789888000</p> <p>Tempo de Relógio = 4.45e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>
<p>Fatorial de 11</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 39916800</p> <p>Tempo de Relógio = 5.52e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 39916800</p> <p>Tempo de Relógio = 3.56e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 14</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 87178291200</p> <p>Tempo de Relógio = 7.7e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 87178291200</p> <p>Tempo de Relógio = 6.18e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 17</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 355687428096000</p> <p>Tempo de Relógio = 8.12e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 355687428096000</p> <p>Tempo de Relógio = 4e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>
<p>Fatorial de 12</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 479001600</p> <p>Tempo de Relógio = 6.54e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 479001600</p> <p>Tempo de Relógio = 3.48e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 15</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 1307674368000</p> <p>Tempo de Relógio = 6.82e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 1307674368000</p> <p>Tempo de Relógio = 4.96e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fatorial de 18</p> <p>Recursivo:</p> <p>Valor = 6402373705728000</p> <p>Tempo de Relógio = 6.98e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 1e-07s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo:</p> <p>Valor = 6402373705728000</p> <p>Tempo de Relógio = 3.64e-08s</p> <p>Tempo de Sistema = 0s</p> <p>Tempo de Usuário = 0s</p>

2.1.2. Gprof



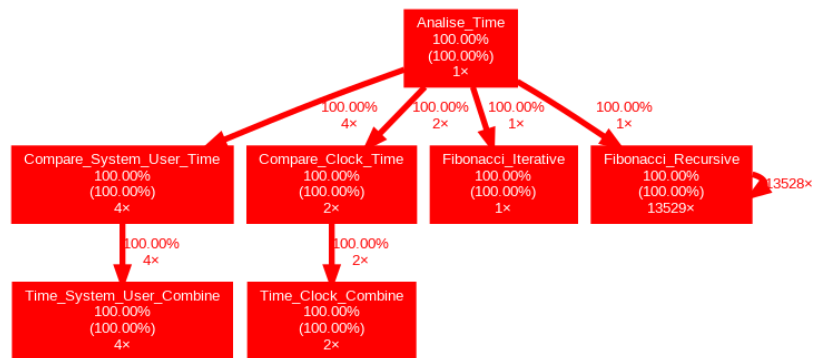
% time	cumulative seconds	self seconds	self calls	self Ts/call	total Ts/call	name
0.00	0.00	0.00	4	0.00	0.00	Compare_System_User_Time
0.00	0.00	0.00	4	0.00	0.00	Time_System_User_Combine
0.00	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Compare_Clock_Time
0.00	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Time_Clock_Combine
0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	Analise_Time
0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	Factorial_Iterative
0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	Factorial_Recursive

2.2. Fibonacci

2.2.1. Tempos de relógio, usuário e sistema

<p>Fibonacci de 1</p> <p>Recursivo: Valor = 1 Tempo de Relógio = 8.73e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 1 Tempo de Relógio = 3.11e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 4</p> <p>Recursivo: Valor = 3 Tempo de Relógio = 3.98e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo: Valor = 3 Tempo de Relógio = 3.58e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 7</p> <p>Recursivo: Valor = 13 Tempo de Relógio = 5.88e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 13 Tempo de Relógio = 3.66e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>
<p>Fibonacci de 2</p> <p>Recursivo: Valor = 1 Tempo de Relógio = 4.27e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 1 Tempo de Relógio = 3.47e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 5</p> <p>Recursivo: Valor = 5 Tempo de Relógio = 4.54e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p> <p>Iterativo: Valor = 5 Tempo de Relógio = 3.64e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 8</p> <p>Recursivo: Valor = 21 Tempo de Relógio = 7.75e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 21 Tempo de Relógio = 3.66e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p>
<p>Fibonacci de 3</p> <p>Recursivo: Valor = 2 Tempo de Relógio = 3.78e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 2 Tempo de Relógio = 3.53e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 6</p> <p>Recursivo: Valor = 8 Tempo de Relógio = 4.77e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 8 Tempo de Relógio = 3.63e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p>	<p>Fibonacci de 9</p> <p>Recursivo: Valor = 34 Tempo de Relógio = 1.056e-07s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 34 Tempo de Relógio = 3.82e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p>
<p>Fibonacci de 10</p> <p>Recursivo: Valor = 55 Tempo de Relógio = 1.564e-07s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 55 Tempo de Relógio = 3.75e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 13</p> <p>Recursivo: Valor = 233 Tempo de Relógio = 5.623e-07s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 6e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 233 Tempo de Relógio = 4.05e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 16</p> <p>Recursivo: Valor = 987 Tempo de Relógio = 2.2922e-06s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 2.3e-06s</p> <p>Iterativo: Valor = 987 Tempo de Relógio = 3.97e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p>
<p>Fibonacci de 11</p> <p>Recursivo: Valor = 89 Tempo de Relógio = 2.353e-07s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 2e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 89 Tempo de Relógio = 3.92e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p>	<p>Fibonacci de 14</p> <p>Recursivo: Valor = 377 Tempo de Relógio = 8.943e-07s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 9e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 377 Tempo de Relógio = 3.95e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 17</p> <p>Recursivo: Valor = 1597 Tempo de Relógio = 3.6861e-06s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 3.7e-06s</p> <p>Iterativo: Valor = 1597 Tempo de Relógio = 4.02e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>
<p>Fibonacci de 12</p> <p>Recursivo: Valor = 144 Tempo de Relógio = 3.62e-07s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 3e-07s</p> <p>Iterativo: Valor = 144 Tempo de Relógio = 3.86e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 15</p> <p>Recursivo: Valor = 610 Tempo de Relógio = 1.4294e-06s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1.5e-06s</p> <p>Iterativo: Valor = 610 Tempo de Relógio = 3.97e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 0s</p>	<p>Fibonacci de 18</p> <p>Recursivo: Valor = 2584 Tempo de Relógio = 5.9507e-06s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 6e-06s</p> <p>Iterativo: Valor = 2584 Tempo de Relógio = 3.95e-08s Tempo de Sistema = 0s Tempo de Usuário = 1e-07s</p>

2.2.2. Gprof



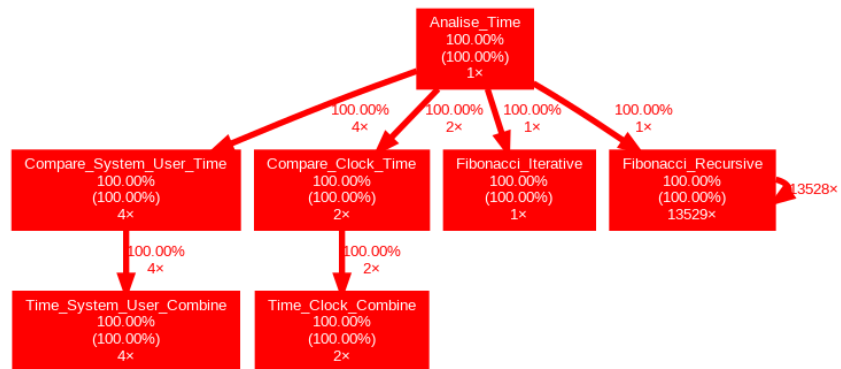
% time	cumulative seconds	self seconds	self calls	self Ts/call	total Ts/call	name
0.00	0.00	0.00	4	0.00	0.00	Compare_System_User_Time
0.00	0.00	0.00	4	0.00	0.00	Time_System_User_Combine
0.00	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Compare_Clock_Time
0.00	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Time_Clock_Combine
0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	Analise_Time
0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	Fibonacci_Iterative
0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	Fibonacci_Recursive

2.3. Análise adicionando uma função seno nas recursivas

2.3.1. Fibonacci

```

Fibonacci de 20
Valor = 6765
Tempo de Relógio = 1.6479e-05s
Tempo de Sistema = 0s
Tempo de Usuário = 1.64e-05s
  
```

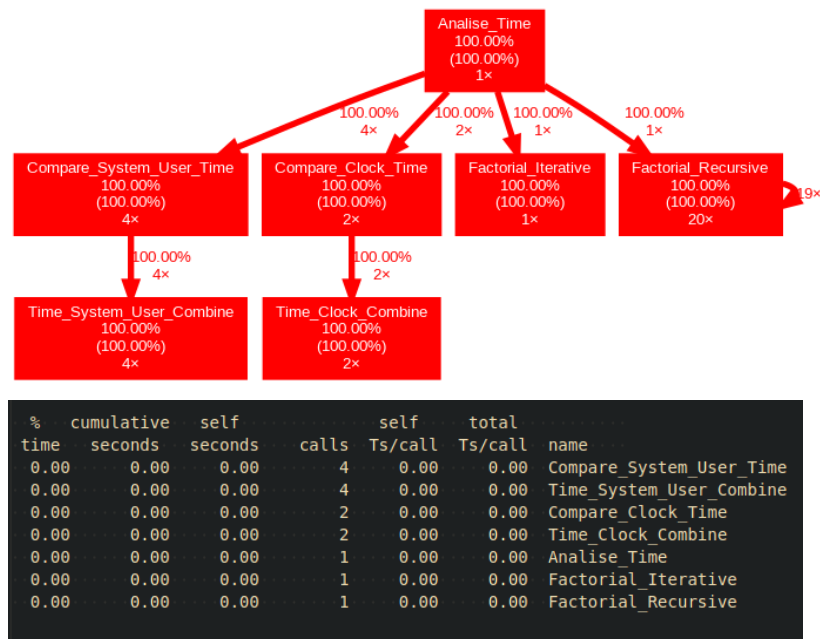


% time	cumulative seconds	self seconds	self calls	self Ts/call	total Ts/call	name
0.00	0.00	0.00	4	0.00	0.00	Compare_System_User_Time
0.00	0.00	0.00	4	0.00	0.00	Time_System_User_Combine
0.00	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Compare_Clock_Time
0.00	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Time_Clock_Combine
0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	Analise_Time
0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	Fibonacci_Iterative
0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	Fibonacci_Recursive

2.3.2. Fatorial

```

Fatorial de 20
Valor = 2432902008176640000
Tempo de Relógio = 1.229e-07s
Tempo de Sistema = 0s
Tempo de Usuário = 1e-07s
  
```



3. Considerações

Esse trabalho foi bastante importante para notar a diferença entre o tempo de funções recursivas e iterativas que, de fato, acompanham(aproximadamente) a ordem de complexidade apresentadas teoricamente. É notável que em ambos os casos o aumento do valor de entrada das funções gera um acréscimo significativo no tempo das funções de carácter recursivo, principalmente no caso da sequência de Fibonacci que, de fato, depende de duas chamadas recursivas. Além disso, é bastante interessante e surpreendente ver a diferença de quantidade de vezes que a função recursiva de Fibonacci e de Fatorial são chamadas, visto que com a entrada igual a 20 para ambos a diferença ultrapassa os 10 mil. Todavia, é válido salientar sobre os tempos de usuário e de sistema que, de fato, foram bastante imprevisíveis e inconstantes ao longo do projeto, variando de acordo com a hora da compilação e da execução do código, instigando meu interesse sobre o assunto.

Ademais, foi interessante começar a trabalhar com ferramentas de medição de tempo que eu não estava familiarizado, de fato elas podem ser bastante úteis na depuração de códigos e análises de eficiência. Trabalhar com códigos modularizados e seguindo o “Clean code” também foi bastante interessante, facilitando bastante o entendimento do código tanto para mim quanto para outros leitores.

