

Thiago Anderson Martins

23 de maio de 2018

PMG

Fórmula para Performance Multicore Genérica para CPUs

Introdução

Inúmeros fatores determinam a performance de um processador, como tipo de arquitetura, quantidade de instruções por ciclo, tamanho e velocidade das memórias cache, tipo de instrução a ser executada, dentre incontáveis outros. Apesar de tantas variáveis, é possível argumentar que três delas possuem um impacto mais significativo na performance geral de um processador moderno, que são:

- Frequência máxima;
- Quantidade de núcleos;
- Quantidade de *threads*.

Não é atoa que atualmente estas características são as maiores determinantes do preço de uma CPU, além de receber grande destaque pela equipe de marketing das fabricantes. Tal destaque também se dá pelo o fato de que frequência, quantidade de núcleos e de *threads* são os principais (e muitas vezes, os únicos) diferenciais entre processadores de uma mesma geração.

PMG - Performance Multicore Genérica

O conceito de performance é relativo, sendo importante definir um parâmetro para o prosseguimento desse estudo. Performance Multicore Genérica, ou PMG, é uma espécie de pontuação que representa a performance multicore máxima de uma CPU, ou seja, quando a mesma recebe uma grande carga de trabalho que a faça utili-

zar todos os núcleos e threads em frequência máxima. É um valor que representa a melhor situação multicore possível.

Como comparar a PMG com referências do mundo real

Ao comparar a PMG com alguma referência de performance do mundo real, para que o resultado faça sentido, é preferível que esta possua um bom suporte a múltiplos núcleos e *threads*. Logo, a PMG não é recomendada para prever a performance em aplicações como jogos, que muitas vezes valorizam a frequência muito mais do que a quantidade de núcleos. Processos que utilizem o processamento paralelo plenamente, como edição de vídeo e imagens, modelagem, animação, renderização e atividades computacionais geralmente relacionadas à produtividade serão mais bem representadas pelos valores PMG.

É importante ressaltar que dependendo da capacidade de refrigeração de um dispositivo, a PMG pode se tornar imprecisa, já que é possível que a CPU atinja sua frequência máxima por um curto período de tempo, até reduzi-la para manter uma temperatura aceitável. Nessas situações, é recomendável utilizar a real frequência máxima estável (após a redução de velocidade por motivos térmicos) que o dispositivo suporte ao invés das especificações do fabricante. Notebooks e portáteis em geral possuem maior dificuldade em atingir as frequências máximas e manterem-se estáveis.

Por fim, a PMG possui uma excelente precisão ao comparar CPUs de uma mesma geração e fabricante. Se duas CPUs de diferentes fabricantes forem comparadas, é provável que haja uma discrepância em razão de diferenças arquiteturais e de instruções por ciclo. Comparações entre processadores AMD Ryzen de primeira ou segunda geração e Intel de oitava geração são relativamente precisas, já que a performance por frequência são similares, entretanto, ao comparar processadores mais anti-

gos, como AMD FX, com gerações mais recentes, os resultados serão completamente errôneos.

Fórmula PMG

A fórmula PMG é uma ferramenta simples que pode ser útil para prever e comparar, de forma rápida, a performance multicore de diferentes processadores. Preferencialmente, deve ser utilizada para comparar CPUs de mesma geração e fabricante, garantindo a eliminação de qualquer viés relacionado com a quantidade de instruções por segundo (IPC). A fórmula é a seguinte:

$$FM(2N + T) = PMG$$

Onde:

- FM: Frequência máxima;
- N: Número de núcleos;
- T: Número de *threads*;
- PMG: Resultado de Performance Multicore Geral;

Calculando e Comparando o PMG de Processadores AMD Ryzen:

Primeiramente, deve-se obter as três principais especificações de uma CPU.

Especificações do processador Ryzen 2700X:

- Frequência máxima (FM): 4.3GHz;
- Número de núcleos (N): 8;
- Número de *threads* (T): 16.

Finalmente, aplica-se a fórmula:

$$4,3 \times (2 \times 8 + 16) = 137,6 \text{ PMG}$$

Portanto, conclui-se que o processador Ryzen 2700X possui um PMG de 137,6.

Especificações do processador Ryzen 2600X:

- Frequência máxima (FM): 4.2GHz;
- Número de núcleos (N): 6;
- Número de *threads* (T): 12.

Aplicando a fórmula:

$$4,2 \times (2 \times 6 + 12) = 100,8 \text{ PMG}$$

Logo, o processador Ryzen 2700X possui 36,5% vezes PMG que o 2600X.

Aqui está uma tabela com o PMG dos principais processadores Ryzen atuais:

Modelo Ryzen	PMG
2700X	137,6
2700	131,2
2600X	100,8
2600	93,6
2400G	62,4
1500X	59,2
1400	54,4
2200G	44,4
1300X	44,4
1200	40,8

PMG de processadores Intel de oitava geração

Aplicando o mesmo método utilizado acima, a seguinte tabela foi criada com alguns dos principais processadores Intel de oitava geração (Coffee Lake):

Modelo Intel	PMG
i7 8700K (5GHz)	120,0
i7 8700K	112,8
i5 8600K (5GHz)	90,0
i5 8600K	77,4

Modelo Intel	PMG
i5 8400	72,0
i3 8350K (5GHz)	60,0
i3 8350K	48,0
i3 8100	43,2
Pentium Gold G5600	31,2
Celeron G4920	19,2

Explicação Teórica para a Fórmula

Núcleos e threads são diretamente ligados pela frequência do processador, por isso se multiplica a variável MF pela soma dos outros elementos. Como o objetivo da fórmula é calcular a performance máxima de uma CPU, é necessário obter a frequência máxima da mesma. A quantidade de cores (C) é multiplicada por 2, pois cada core pode conter até 2 threads. A quantidade de núcleos possuem uma maior importância na performance multicore, e isso pode ser provado ao verificar que a performance de qualquer processador com 4 núcleos e 4 threads é maior do que um de 2 cores e 4 threads de mesma geração e fabricante. Depois de aplicar peso 2 aos núcleos, é adicionada a quantidade de *threads* (T).

Provando a precisão da fórmula PMG

Observando as tabelas, é possível verificar as diferenças de performance multicore entre diferentes processadores, mas quão bem essas informações se traduzem ao compará-las com resultados do mundo real? Nas tabelas abaixo, alguns processadores serão comparados uns aos outros, juntamente com as seguintes referências de performance (*benchmarks*):

- Cinebench R15 (*Multicore*);
- CPU-Z (*Multicore*);

- Renderização Blender (em segundos);
- Time Spy CPU Score;
- Compressão e Descompressão no 7-Zip;
- Criptografia e Decriptografia AES (GB/s);

Ryzen 2700X vs 2600X:

Modelo Ryzen	PMG	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Blender Scene Render (seconds)	Time Spy CPU Score	7-Zip Combined Scores - Anandtech	AES (GB/s) Encryption and Decryption
2700X	137,6	1792 [1]	4915 [3]	273 [1]	9147 [5]	47082 [2]	10,9 [2]
2600X	100,8	1358 [1]	3716 [4]	356 [1]	6666 [5]	36844 [2]	8,2 [2]
%	36,5	31,0	32,2	23,3	37,2	27,7	32,9

No caso do Ryzen 2700X vs 2600X, o primeiro apresenta uma vantagem de 36,5% em PMG. Fazendo uma média da diferença percentual das seis referências do mundo real, obtém-se uma vantagem de 30,7% para o 2700X, que é um valor consideravelmente próximo ao previsto pelo PMG.

Ryzen 2400G vs 2200G:

Modelo Ryzen	PMG	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Blender Scene Render (seconds)	Time Spy CPU Score	7-Zip Combined Scores - Anandtech	AES (GB/s) Encryption and Decryption
2400G	62,4	800 [6]	2281 [7]	600 [6]	3828 [10]	21119 [9]	4,1 [9]
2200G	44,4	549 [6]	1703 [8]	899 [6]	3469 [10]	13647 [9]	2,5 [9]
%	40,5	45,7	33,9	33,2	10,3	54,7	64,0

Segundo a fórmula, o processador Ryzen 2400G possui um PMG 40,5% maior que o 2200G. Ao fazer a média dos seis *benchmarks*, obtém-se uma vantagem de 40,3% para o 2400G. Neste caso, a fórmula foi perfeitamente precisa.

Intel Core i7 8700K vs Core i5 8400:

Modelo Intel	PMG	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Blender Scene Render (seconds)	Time Spy CPU Score	7-Zip Combined Scores - Anandtech	AES (GB/s) Encryption and Decryption
i7 8700K	112,8	1364 [11]	3801 [15]	314 [12]	7918 [12]	37668 [13]	8,0 [13]
i5 8400	77,4	924 [11]	2602 [16]	485 [12]	5595 [14]	24877 [13]	5,0 [13]
%	45,7	47,6	46,0	35,2	41,5	51,4	60,0

Já na tabela acima, o i7 8700K tem uma vantagem de 45,7% em PMG. Ao fazer a média das vantagens dos *benchmarks*, obtêm-se 46,95%.

Intel core i3 8350K (5GHz) vs i3 8100:

Modelo Intel	PMG	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Blender 2070 Tiles Render (seconds)	Time Spy CPU Score	7-Zip Combined Scores - Tom's Hardware	LAME (.WAV to .MP3) (Seconds)
i3 8350K	60,0	841 [19]	2374 [20]	209,8 [19]	5059 [17]	44964 [19]	22,3 [19]
i3 8100	43,2	611 [19]	1658 (u)	283,3 [19]	3750 [17]	31379 [19]	31,1 [19]
%	38,8	37,6	43,1	25,9	34,9	43,3	28,3

Na comparação entre o i3 8350K e o 8100, há a diferença de que há uma CPU com overclock. Mesmo assim, a fórmula se manteve extremamente precisa, resultando em uma vantagem de 38,8 PMG e uma vantagem média de 35,5% nos *benchmarks*.

Precisão da Fórmula PMG

Ao comparar diversas CPUs diferentes com 6 benchmarks cada, a fórmula PMG se mostrou extremamente precisa. Mais especificamente, das oito CPUs comparadas acima, as quatro mais potentes obtiveram em média 40,3% mais PMG em relação à mais fraca. No mundo real, a vantagem foi de 38,3% nos *benchmarks*, uma diferença de apenas -2%.

Com isso, pode-se concluir que a fórmula PMG é extremamente precisa quando compara processadores de uma mesma geração e fabricante, sendo extremamente útil para comparar processadores sem a necessidade de pesquisar por diversos *benchmarks*. A fórmula também pode ser útil para calcular os ganhos de um *overclock*.

IPC - O Problema em Comparar CPUs de Diferentes Fabricantes

Comparar processadores de diferentes fabricantes já não é tão simples. Muitos novos fatores entram em jogo, como suporte à diferentes velocidades de memória RAM, diferentes placas mãe e, principalmente, variações na quantidade de instruções por ciclo (IPC) de cada arquitetura.

A tabela abaixo mostra uma comparação entre o processador AMD Ryzen 2700X com o Intel Core i7 8700K:

Modelo da CPU	PMG	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Blender Scene Render (seconds)	Time Spy CPU Score	7-Zip Combined Scores - Anandtech	AES (GB/s) Encryption and Decryption
2700X	137,6	1792 [1]	4915 [3]	273 [1]	9147 [5]	47082 [2]	10,9 [2]
i7 8700K	112,8	1364 [11]	3801 [15]	314 [12]	7918 [12]	37668 [13]	8,0 [13]
%	21,9	31,3	29,3	13,0	15,5	25,3	36,2

Note que neste caso, a fórmula também é precisa, com uma diferença de apenas 3,2%. Porém, tal fato é apenas uma coincidência, já que ambos os processadores foram lançados no mesmo ano, e, coincidentemente, ambos aparentemente possuem um IPC muito similar nas referências comparadas, o que torna a comparação entre a segunda geração AMD Ryzen e a oitava-geração Intel Coffee-Lake válida, sem nem mesmo considerar o IPC. Abaixo, outra tabela reforçando este ponto:

Modelo da CPU	PMG	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Blender Scene Render (seconds)	Time Spy CPU Score	7-Zip Combined Scores - Anandtech	AES (GB/s) Encryption and Decryption
i5 8400	77,4	924 [11]	2602 [16]	485 [12]	5595 [14]	24877 [13]	5,0 [13]
R5 2400G	62,4	800 [6]	2281 [7]	600 [6]	3828 [10]	21119 [9]	4,1 [9]
%	24,0	15,5	14,0	19,1	46,1	17,7	21,9

Com uma vantagem de 24% em PMG, e 22,38% na média dos benchmarks, a fórmula novamente se mostra precisa, sendo mais uma evidência de um IPC similar entre os modelos comparados.

Entretanto, tal coincidência nem sempre ocorre, e um exemplo que deixa isso evidente é a série de processadores FX da AMD, como mostra seguinte tabela:

Modelo da CPU	PMG	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Time Spy CPU Score
FX-9590	120	728 [21]	1744 [23]	3313 [22]
i5 8400	77,4	924 [11]	2602 [16]	5595 [14]
%	55,0	-21,2	-32,9	-40,7

Note que neste caso, esperava-se que o FX-9590 obtivesse uma vantagem de cerca de 55%, porém, na realidade ele obteve uma desvantagem de 31,6%! Esta grande diferença ocorreu pois a quantidade de instruções por ciclo (IPC) do processador FX-9590 é significativamente menor que o i5 de oitava geração. É exatamente por este motivo que não se recomenda utilizar a fórmula PMG para comparar processadores de diferentes gerações e fabricantes.

Contornando o problema do IPC

É possível contornar o problema da quantidade de instruções por ciclo adicionando uma nova constante à fórmula, tal constante representaria o IPC de cada geração de processadores. Entretanto, tal solução não é elegante, já que IPC é algo que pode variar bastante de acordo com o tipo de instrução sendo executada. A simplici-

dade da fórmula também é afetada de forma negativa, já que será necessário consultar uma tabela com os valores para cada geração de CPU, e nem todo mundo concordaria com os mesmos.

PMGU - Performance Multicore Genérica Universal

Para tornar possível a comparação entre qualquer CPU, é necessário conhecer a quantidade de instruções por ciclo de cada geração de processadores e utilizar uma fórmula universal. Como IPC é subjetivo e variável, o conceito deste aqui utilizado só é válido para cargas de trabalho multicore.

A nova fórmula é a seguinte:

$$\text{IPC}(\text{MF}(2C + T)) = \text{PMGU}$$

Que é o equivalente de:

$$\text{IPC} \times \text{PMG} = \text{PMGU}$$

onde:

- IPC: Valor que representa a quantidade de instruções por ciclo de uma geração de processadores.

Como obter o valor IPC

Para obter o IPC da fórmula PMGU, é necessário calcular um valor que normalize o PMG, tornando-o similar à média dos resultados dos *benchmarks*. Diferentemente da fórmula PMG, a fórmula PMGU possui uma variável com relação direta com dados do mundo real, que é vulnerável à vieses. Portanto, para garantir a precisão da fórmula PMGU, é importante obter o máximo de informações de *benchmarking* multicore o possível.

Obtendo os valores para a tabela IPC

A primeira coisa a fazer é definir um valor de referência. Os processadores mais atuais, que neste momento são os AMD Ryzen+, receberão o valor IPC de 1. O restante será o resultado de uma comparação com os mesmos. Como as comparações com os AMD Ryzen+ e Coffee Lake obtiveram resultados PMG realistas, pode-se também atribuir o IPC de 1,0 para os processadores Intel de oitava geração com segurança. A partir daqui, serão calculados os IPCs das gerações anteriores, que dará origem à tabela IPC.

IPC dos Processadores AMD FX:

Primeiramente, será necessário comparar um processador AMD FX com um processador de IPC 1,0. Neste caso, os processadores escolhidos foram:

- AMD FX-9560 (8 núcleos, 8 *threads* e frequência máxima de 5GHz);
- Intel Core i5 8400 (6 núcleos, 6 *threads* e frequência máxima de 4GHz);

Depois, é necessário criar uma tabela PMG simples, em ordem decrescente em relação aos *benchmarks*:

Modelo da CPU	PMG	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Time Spy CPU Score
i5 8400	77,4	924 [11]	2602 [16]	5595 [14]
FX-9590	120	728 [21]	1744 [23]	3313 [22]
%	-0,35	26,9	49,2	68,9

Neste caso, como a diferença PMG de -35% está completamente distante da média de +48,3% dos *benchmarks*, é possível concluir que o IPC da série de processadores AMD FX é consideravelmente menor que os Intel Coffee Lake.

Será necessário transformar o PMG de 120 do FX-9590 em um PMGU que resulte em uma diferença de 48,3% sob o PMGU do Core i5 8400 (Como o IPC do processador Intel é 1, o PMG é igual ao PMGU para o mesmo).

O cálculo do PMGU do FX-9590, representado por x, pode ser feito da seguinte forma:

$$77,4 \div x = 1 + 0,483$$

$$x = 77,4 \div 1,483$$

$$x = 52,2$$

Logo, obteve-se o valor PMGU da série do processador da AMD. Para obter o IPC do mesmo, basta realizar o seguinte cálculo:

$$\text{PMGU} = \text{IPC} \times \text{PMG}$$

$$52,2 = \text{IPC} \times 120,0$$

$$\text{IPC} = 52,2 \div 120,0$$

$$\text{IPC} = 0,435$$

Portanto, é possível obter o IPC de uma série de processadores a partir do PMGU de um de seus processadores.

Tabela IPC:

Geração	IPC
AMD Ryzen+	1,0
Intel Coffee Lake	1,0
AMD Ryzen	1,0
Intel Kaby Lake	?
Intel Skylake	?
Intel Broadwell	?
Intel Haswell	?
Intel Ivy Bridge	?

Geração	IPC
Intel Sandy Bridge	?
Intel Clarksfield	?
AMD FX	0,435

Com a tabela acima, é possível comparar processadores de diferentes fabricantes e gerações. Observe a nova comparação do processador AMD FX-9590 com o Intel Core i5 8400:

Modelo da CPU	PMGU	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Time Spy CPU Score
i5 8400	77,4	924 [11]	2602 [16]	5595 [14]
FX-9590	52,2	728 [21]	1744 [23]	3313 [22]
%	48,2	26,9	49,2	68,8

O valor PMGU do AMD FX-9590 foi obtido da seguinte maneira:

$$0,435 \times 120$$

Onde o valor 0,435 foi obtido da tabela IPC. O valor 120 refere-se ao PMG simples do processador.

Para relembrar, a mesma comparação utilizando apenas a fórmula PMG simples era a seguinte:

Modelo da CPU	PMG	Cinebench R15 Multicore	CPU-Z Multicore	Time Spy CPU Score
FX-9590	120	728 [21]	1744 [23]	3313 [22]
i5 8400	77,4	924 [11]	2602 [16]	5595 [14]
%	55,0	-21,2	-32,9	-40,7

Ou seja, o que a constante IPC fez, foi transformar o resultado PMG de 120,0 do processador FX-9590 em um PMGU de 52,2, que representa uma quantificação de performance muito mais realista.

Conclusão

A fórmula PMG é uma ferramenta interessante, capaz de prever com precisão alguns valores de performance, sem a necessidade de depender de referências de terceiros. Algumas previsões interessantes podem ser realizadas, como o fato de que, em geral, um processador com 6 núcleos e 6 threads possui mais performance multicore que um com 4 núcleos e 8 threads.

Já a fórmula PMGU, mesmo sendo limitada à uma constante que pode conter vieses, permite a comparação entre virtualmente qualquer processador no mercado. Com dados suficientes de benchmarks multicore, a fórmula se torna extremamente confiável.

Em geral, os Resultados das fórmulas se mostraram extremamente precisos com referências do mundo real, retirando a necessidade de consultar diversos *benchmarks* para saber se um processador x é mais rápido que o y, ou quais serão os ganhos de performance em um eventual overclock. A fórmula também pode ser bastante útil para comparar processadores não tão populares, que possuem poucas informações e referências na internet.

Referências

1. CUTRESS, IAN. The AMD 2nd Gen Ryzen Deep Dive: The 2700X, 2700, 2600X and 2600 Tested - CPU Rendering Tests. Disponível em: <https://www.anandtech.com/show/12625/amd-second-generation-ryzen-7-2700x-2700-ryzen-5-2600x-2600/10>. Acesso em 26/05/2018.
2. CUTRESS, IAN. The AMD 2nd Gen Ryzen Deep Dive ... - CPU Encoding Tests. Disponível em: <https://www.anandtech.com/show/12625/amd-second-generation-ryzen-7-2700x-2700-ryzen-5-2600x-2600/12>. Acesso em 26/05/2018.
3. CPU-Z. CPU-Z Benchmark (x64 - 2017.1) - 16 Threads. Disponível em: <http://valid.x86.fr/bench/s8ng35/16>. Acesso em 26/05/2018.
4. CPU-Z. CPU-Z Benchmark (x64 - 2017.1) - 12 Threads. Disponível em: <https://valid.x86.fr/bench/p2d7tu/12>. Acesso em 26/05/2018.
5. HAGEDOORN, HILBERT. AMD Ryzen 7 2700X review - Performance - 3D-Mark Time Spy CPU. Disponível em: <http://www.guru3d.com/articles-pages/amd-ryzen-7-2700x-review,18.html>. Acesso em 26/05/2018.
6. CUTRESS, IAN. Marrying Vega and Zen: The AMD Ryzen 5 2400G Review - Benchmarking Performance: CPU Rendering Tests. Disponível em: <https://www.anandtech.com/show/12425/marrying-vega-and-zen-the-amd-ryzen-5-2400g-review/8>. Acesso em 26/05/2018.
7. HEGEDOORN, HILBERT. AMD Ryzen 5 2400G review - Performance - CPU-Z. Disponível em: http://www.guru3d.com/articles_pages/amd_ryzen_5_2400g_review,9.html. Acesso em: 26/05/2018.
8. HEGEDOORN, HILBERT. AMD Ryzen 3 2200G review - Performance - CPU-Z. Disponível em: http://www.guru3d.com/articles_pages/amd_ryzen_3_2200g_review,9.html. Acesso em: 26/05/2018.

9. CUTRESS, IAN. Marrying Vega and Zen: The AMD Ryzen 5 2400G Review - Benchmarking Performance: CPU Encoding Tests. Disponível em: <https://www.anandtech.com/show/12425/marrying-vega-and-zen-the-amd-ryzen-5-2400g-review/10>. Acesso em: 26/05/2018.

10. HAGEDOORN, HILBERT. AMD Ryzen 3 2200G review - Performance - 3D-Mark Time Spy CPU. Disponível em: http://www.guru3d.com/articles_pages/amd_ryzen_3_2200g_review,18.html. Acesso em: 26/05/2018.

11. CUTRESS, IAN. The AnandTech Coffee Lake Review: Initial Numbers on the Core i7-8700K and Core i5-8400 - Benchmarking Performance: CPU Rendering Tests. Disponível em: <https://www.anandtech.com/show/11859/the-anandtech-coffee-lake-review-8700k-and-8400-initial-numbers/8>. Acesso em: 26/05/2018.

12. HAGEDOORN, HILBERT. Intel Core i7 8700K processor review - Performance - 3DMark Time Spy CPU. Disponível em: http://www.guru3d.com/articles_pages/intel_core_i7_8700k_processor_review,16.html. Acesso em: 26/05/2018.

13. CUTRESS, IAN. The AnandTech Coffee Lake Review: Initial Numbers on the Core i7-8700K and Core i5-8400 - Benchmarking Performance: CPU Encoding Tests. Disponível em: <https://www.anandtech.com/show/11859/the-anandtech-coffee-lake-review-8700k-and-8400-initial-numbers/10>. Acesso em: 26/05/2018.

14. BAILEY, DAMON. Intel Core i5-8400 CPU Review: Page 4 of 6. Disponível em: <https://proclockers.com/reviews/cpus/intel-core-i5-8400-cpu-review/page/0/3>. Acesso em: 26/05/2018.

15. CPU-Z. CPU-Z Benchmark (x64 - 2017.1) - 12 Threads. Disponível em: <http://valid.x86.fr/bench/xyws8u/12>. Acesso em: 26/05/2018.

16. CPU-Z. CPU-Z Benchmark (x64 - 2017.1) - 6 Threads. Disponível em: <http://valid.x86.fr/bench/xyws8u/6>. Acesso em: 26/05/2018.

17. ALCORN, PAUL. Intel Core i3-8100 CPU Review. Disponível em: <https://www.tomshardware.com/reviews/intel-core-i3-8100-cpu-review,5385-3.html>. Acesso em: 26/05/2018.

18. CPU-Z. CPU-Z Benchmark (x64 - 2017.1) - 4 Threads. Disponível em: <http://valid.x86.fr/bench/4>. Acesso em: 26/05/2018.

19. ALCORN, PAUL. Intel Core i3-8100 CPU Review. Disponível em: <https://www.tomshardware.com/reviews/intel-core-i3-8100-cpu-review,5385-8.html>. Acesso em: 26/05/2018.

20. CPU-Z. CPU-Z Benchmark (x64 - 2017.1) - 4 Threads. Disponível em: <http://valid.x86.fr/bench/2najq4/4>. Acesso em: 26/05/2018.

21. CUTRESS, IAN. AMD's 5 GHz Turbo CPU in Retail: The FX-9590 and ASRock 990FX Extreme9 Review. Disponível em: <https://www.anandtech.com/show/8316/amds-5-ghz-turbo-cpu-in-retail-the-fx9590-and-asrock-990fx-extreme9-review/6>. Acesso em: 26/05/2018.

22. 3DMark. Time Spy 1.0. Disponível em: <https://www.3dmark.com/spy/769680>. Acesso em: 26/05/2018.

23. CPU-Z. CPU-Z Benchmark (x64 - 2017.1) - 8 Threads. Disponível em: <http://valid.x86.fr/bench/8>. Acesso em: 26/05/2018.