



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO E
SISTEMAS

Jessica Junia Santillo Costa

**Emprego de Medição na Estimação do Tempo de Execução no Pior Caso para Sistemas
de Tempo Real**

Florianópolis
2021

Jessica Junia Santillo Costa

Emprego de Medição na Estimação do Tempo de Execução no Pior Caso para Sistemas de Tempo Real

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Automação e Sistemas.
Orientador: Prof. Rômulo Silva de Oliveira, Dr.
Coorientador: Luís Fernando Arcaro, Dr.

Florianópolis
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Costa, Jessica Junia Santillo

Emprego de Medição na Estimação do Tempo de Execução no
Pior Caso para Sistemas de Tempo Real / Jessica Junia
Santillo Costa ; orientador, Rômulo Silva de Oliveira,
coorientador, Luís Fernando Arcaro, 2021.

201 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Automação e Sistemas, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Automação e Sistemas. 2. MBPTA. 3.
WCET. 4. Tempo Real. I. Oliveira, Rômulo Silva de. II.
Arcaro, Luís Fernando. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Automação e Sistemas. IV. Título.

Jessica Junia Santillo Costa

Emprego de Medição na Estimação do Tempo de Execução no Pior Caso para Sistemas de Tempo Real

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Rodrigo Lange, Dr.
Instituto Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Rafael Rodrigues Obelheiro, Dr.
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Cristian Koliver, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Automação e Sistemas.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Rômulo Silva de Oliveira, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2021.

À Sônia.

“Não se deve compreender muito rápido.”
(LACAN, 1973)

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a avaliação de métodos e técnicas para estimar o tempo de execução no pior caso (WCET), em aplicações de tempo real executadas em hardware com recursos de aceleração complexos. Busca-se avaliar a aplicação da Análise de Tempo Probabilística Baseada em Medições (MBPTA) para estimação do WCET, utilizando como estudo de caso um sistema operacional que busca atender aos aspectos funcionais e temporais exigidos pela especificação ARINC 653 executado sobre uma plataforma BeagleBone. Testes foram feitos com a inserção de *Benchmarks* em diferentes partições do sistema operacional. Os *Benchmarks* implementados foram o fibcall, o bsort e o lms do projeto Mälardalen e o dijkstra do projeto TACLeBench. Diversos testes foram realizados para avaliar se o comportamento temporal da aplicação estava sujeito a variações. Os testes realizados comprovaram que o isolamento temporal, que deveria ser estabelecido por meio do particionamento do SO segundo a especificação ARINC 653, não é, por vezes, respeitado em função das características do hardware utilizado. Dois cenários foram usados nos testes em que foram coletadas 10 amostras com 50.000 medições. Apesar da existência de fatores que podem afetar o comportamento temporal da aplicação, o comportamento em regime se apresentou estável e, de maneira geral, a técnica MBPTA baseada na Teoria de Valores Extremos usando a abordagem Máximos de Blocos pôde ser aplicada e os resultados obtidos foram satisfatórios. Para cada cenário, foram usados 3 diferentes tamanhos de blocos e 3 diferentes quantidades de blocos. Foram gerados pWCETs (*probabilistic WCETs*) para 4 diferentes probabilidades de excedência. No caso da probabilidade de excedência de 10^{-8} , ainda que 50 valores distintos de pWCET tenham sido obtidos, a diferença entre o maior e o menor valor obtido foi menor do que 1%, mostrando que o método, apesar de sua variabilidade inerente, fornece resultados consistentes. Em todos os casos, a mediana dos pWCETs (10^{-8}) obtidos foi maior do que o maior valor observado.

Palavras-chave: MBPTA. WCET. Sistemas de Tempo Real.

ABSTRACT

The objective of this work is the evaluation of methods and techniques to estimate the worst-case execution time (WCET) in real-time applications running on hardware with complex acceleration resources. The aim is to evaluate the application of Measurement-Based Probabilistic Timing Analysis (MBPTA) to estimate WCET, using as a case study an operating system that seeks to meet the functional and temporal aspects required by the ARINC 653 specification implemented on a BeagleBone platform. Tests were made by inserting Benchmarks on different operating system partitions. The implemented Benchmarks were fibcall, bsort and lms from the Mälardalen project and the dijkstra from the TACLeBench project. Several tests were performed to assess whether the application's temporal behavior was subject to variations. The tests carried out proved that the temporal isolation, which should be established by means of OS partitioning according to the ARINC 653 specification, is sometimes not respected due to the characteristics of the hardware used. Two scenarios were used in the tests where 10 samples with 50,000 measurements were collected. Despite the existence of factors that can affect the temporal behavior of the application, the behavior in regime was stable and, in general, the MBPTA technique using Block Maxima was possible to be applied and the results obtained were satisfactory. For each scenario, 3 different block sizes and 3 different block amounts were used. The pWCETs (probabilistic WCETs) were generated for 4 different exceedance probabilities. In the case of an exceedance probability of 10^{-8} , even though 50 distinct pWCET values were obtained, the difference between the highest and the lowest value obtained was smaller than 1%, showing that the method, despite its inherent variability, provides consistent results. In all cases, the median of pWCETs (10^{-8}) obtained was higher than the highest observed value.

Keywords: MBPTA. WCET. Real-Time Systems.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Exemplo de aplicação do método BM | 26 |
| Figura 2 – Exemplo de aplicação do método PoT | 27 |
| Figura 3 – Exemplo do processo de obtenção do pWCET | 28 |
| Figura 4 – Exemplo de escala temporal de partições | 35 |
| Figura 5 – Diagrama de estado dos processos | 39 |
| Figura 6 – Plataforma BeagleBone | 41 |
| Figura 7 – Escala temporal das partições do RTOS | 44 |
| Figura 8 – Exemplo de código para coleta de medição temporal: Modo Contido na Partição | 45 |
| Figura 9 – Exemplo de código para coleta de medição temporal: Modo Contínuo . . . | 46 |
| Figura 10 – Amostra 50000 valores | 49 |
| Figura 11 – Faixa 1: Bloco inferior | 49 |
| Figura 12 – Histograma da Subfaixa 1_1: Bloco inferior | 50 |
| Figura 13 – Histograma da Subfaixa 1_2: Bloco inferior | 50 |
| Figura 14 – Faixa 2: Bloco do meio | 51 |
| Figura 15 – Faixa 3: Bloco superior | 51 |
| Figura 16 – Amostra de 50000 valores: Comparação do Caso 1 com e sem supressão . . | 52 |
| Figura 17 – Histograma: Comparação do Caso 1 com e sem supressão | 53 |
| Figura 18 – Amostra de 50000 valores: Bsort em P1 (Caso 1) | 54 |
| Figura 19 – Histograma: Bsort em P1 (Caso 1) | 54 |
| Figura 20 – Amostra de 50000 valores: Bsort em P1 com vetor de tamanho 50 | 55 |
| Figura 21 – Histograma: Bsort em P1 com vetor de tamanho 50 | 55 |
| Figura 22 – Amostra de 50000 valores: Comparação do Caso 3A com Caso 1 | 57 |
| Figura 23 – Histograma: Comparação do Caso 3A com Caso 1 | 57 |
| Figura 24 – Amostra de 50000 valores: Comparação do Caso 3B com Caso 1 | 58 |
| Figura 25 – Histograma: Comparação do Caso 3B com Caso 1 | 58 |
| Figura 26 – Amostra 1: Tarefa Bsort | 62 |
| Figura 27 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 1 - Tarefa Bsort . . | 63 |
| Figura 28 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 1 - Tarefa Bsort . . | 66 |
| Figura 29 – Valores estimados por tamanho do bloco com probabilidade de excedência = 10^{-8} | 68 |
| Figura 30 – Valores estimados por quantidade de blocos com probabilidade de excedên- cia = 10^{-8} | 69 |
| Figura 31 – Amostra 1 - Tarefa lms | 70 |
| Figura 32 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 1 - Tarefa lms . . . | 71 |
| Figura 33 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 1 - Tarefa lms . . . | 74 |
| Figura 34 – Amostra 10 - Tarefa lms | 76 |
| Figura 35 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 10 - Tarefa lms . . | 77 |

| | |
|---|-----|
| Figura 36 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 10 - Tarefa lms . . . | 80 |
| Figura 37 – Valores estimados por tamanho do bloco com probabilidade de excedência = 10^{-8} | 82 |
| Figura 38 – Valores estimados por quantidade de blocos com probabilidade de excedência = 10^{-8} | 83 |
| Figura 39 – Amostra 1 - Tarefa Bsort | 101 |
| Figura 40 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 1 - Tarefa Bsort . . | 102 |
| Figura 41 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 1 - Tarefa Bsort . . | 103 |
| Figura 42 – Amostra 2 - Tarefa Bsort | 106 |
| Figura 43 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 2 - Tarefa Bsort . . | 107 |
| Figura 44 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 2 - Tarefa Bsort . . | 108 |
| Figura 45 – Amostra 3 - Tarefa Bsort | 111 |
| Figura 46 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 3 - Tarefa Bsort . . | 112 |
| Figura 47 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 3 - Tarefa Bsort . . | 113 |
| Figura 48 – Amostra 4 - Tarefa Bsort | 116 |
| Figura 49 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 4 - Tarefa Bsort . . | 117 |
| Figura 50 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 4 - Tarefa Bsort . . | 118 |
| Figura 51 – Amostra 5 - Tarefa Bsort | 121 |
| Figura 52 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 5 - Tarefa Bsort . . | 122 |
| Figura 53 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 5 - Tarefa Bsort . . | 123 |
| Figura 54 – Amostra 6 - Tarefa Bsort | 126 |
| Figura 55 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 6 - Tarefa Bsort . . | 127 |
| Figura 56 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 6 - Tarefa Bsort . . | 128 |
| Figura 57 – Amostra 7 - Tarefa Bsort | 131 |
| Figura 58 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 7 - Tarefa Bsort . . | 132 |
| Figura 59 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 7 - Tarefa Bsort . . | 133 |
| Figura 60 – Amostra 8 - Tarefa Bsort | 136 |
| Figura 61 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 8 - Tarefa Bsort . . | 137 |
| Figura 62 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 8 - Tarefa Bsort . . | 138 |
| Figura 63 – Amostra 9 - Tarefa Bsort | 141 |
| Figura 64 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 9 - Tarefa Bsort . . | 142 |
| Figura 65 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 9 - Tarefa Bsort . . | 143 |
| Figura 66 – Amostra 10 - Tarefa Bsort | 146 |
| Figura 67 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 10 - Tarefa Bsort . | 147 |
| Figura 68 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 10 - Tarefa Bsort . | 148 |
| Figura 69 – Amostra 1 - Tarefa lms | 152 |
| Figura 70 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 1 - Tarefa lms . . . | 153 |
| Figura 71 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 1 - Tarefa lms . . . | 154 |
| Figura 72 – Amostra 2 - Tarefa lms | 157 |

| | |
|---|-----|
| Figura 73 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 2 - Tarefa lms . . . | 158 |
| Figura 74 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 2 - Tarefa lms . . . | 159 |
| Figura 75 – Amostra 3 - Tarefa lms | 162 |
| Figura 76 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 3 - Tarefa lms . . . | 163 |
| Figura 77 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 3 - Tarefa lms . . . | 164 |
| Figura 78 – Amostra 4 - Tarefa lms | 167 |
| Figura 79 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 4 - Tarefa lms . . . | 168 |
| Figura 80 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 4 - Tarefa lms . . . | 169 |
| Figura 81 – Amostra 5 - Tarefa lms | 172 |
| Figura 82 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 5 - Tarefa lms . . . | 173 |
| Figura 83 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 5 - Tarefa lms . . . | 174 |
| Figura 84 – Amostra 6 - Tarefa lms | 177 |
| Figura 85 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 6 - Tarefa lms . . . | 178 |
| Figura 86 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 6 - Tarefa lms . . . | 179 |
| Figura 87 – Amostra 7 - Tarefa lms | 182 |
| Figura 88 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 7 - Tarefa lms . . . | 183 |
| Figura 89 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 7 - Tarefa lms . . . | 184 |
| Figura 90 – Amostra 8 - Tarefa lms | 187 |
| Figura 91 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 8 - Tarefa lms . . . | 188 |
| Figura 92 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 8 - Tarefa lms . . . | 189 |
| Figura 93 – Amostra 9 - Tarefa lms | 192 |
| Figura 94 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 9 - Tarefa lms . . . | 193 |
| Figura 95 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 9 - Tarefa lms . . . | 194 |
| Figura 96 – Amostra 10 - Tarefa lms | 197 |
| Figura 97 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 10 - Tarefa lms . . | 198 |
| Figura 98 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 10 - Tarefa lms . . | 199 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 62 |
| Tabela 2 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 64 |
| Tabela 3 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 65 |
| Tabela 4 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 67 |
| Tabela 5 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 67 |
| Tabela 6 – Amostra 1 - Tarefa lms: Análise dos dados | 70 |
| Tabela 7 – Amostra 1 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 72 |
| Tabela 8 – Amostra 1 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 73 |
| Tabela 9 – Amostra 1 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 75 |
| Tabela 10 – Amostra 1 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) . | 75 |
| Tabela 11 – Amostra 10 - Tarefa lms: Análise dos dados | 77 |
| Tabela 12 – Amostra 10 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 78 |
| Tabela 13 – Amostra 10 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 79 |
| Tabela 14 – Amostra 10 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 81 |
| Tabela 15 – Amostra 10 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) . | 81 |
| Tabela 16 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 104 |
| Tabela 17 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 104 |
| Tabela 18 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 104 |
| Tabela 19 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 105 |
| Tabela 20 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 105 |
| Tabela 21 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 109 |
| Tabela 22 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 109 |
| Tabela 23 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 109 |
| Tabela 24 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 110 |
| Tabela 25 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 110 |
| Tabela 26 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 114 |
| Tabela 27 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 114 |
| Tabela 28 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 114 |
| Tabela 29 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 115 |
| Tabela 30 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 115 |
| Tabela 31 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 119 |
| Tabela 32 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 119 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 33 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 119 |
| Tabela 34 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste ((N: 100, 250 e 500) | 120 |
| Tabela 35 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 120 |
| Tabela 36 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 124 |
| Tabela 37 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 124 |
| Tabela 38 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 124 |
| Tabela 39 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 125 |
| Tabela 40 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 125 |
| Tabela 41 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 129 |
| Tabela 42 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 129 |
| Tabela 43 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 129 |
| Tabela 44 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 130 |
| Tabela 45 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 130 |
| Tabela 46 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 134 |
| Tabela 47 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 134 |
| Tabela 48 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 134 |
| Tabela 49 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 135 |
| Tabela 50 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 135 |
| Tabela 51 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 139 |
| Tabela 52 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 139 |
| Tabela 53 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 139 |
| Tabela 54 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 140 |
| Tabela 55 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 140 |
| Tabela 56 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 144 |
| Tabela 57 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 144 |
| Tabela 58 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 144 |
| Tabela 59 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 145 |
| Tabela 60 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 145 |
| Tabela 61 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Análise dos dados | 149 |
| Tabela 62 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 149 |
| Tabela 63 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 149 |
| Tabela 64 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 150 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 65 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 150 |
| Tabela 66 – Amostra 1 - Tarefa lms: Análise dos dados | 155 |
| Tabela 67 – Amostra 1 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 155 |
| Tabela 68 – Amostra 1 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 155 |
| Tabela 69 – Amostra 1 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 156 |
| Tabela 70 – Amostra 1 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 156 |
| Tabela 71 – Amostra 2 - Tarefa lms: Análise dos dados | 160 |
| Tabela 72 – Amostra 2 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 160 |
| Tabela 73 – Amostra 2 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 160 |
| Tabela 74 – Amostra 2 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 161 |
| Tabela 75 – Amostra 2 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 161 |
| Tabela 76 – Amostra 3 - Tarefa lms: Análise dos dados | 165 |
| Tabela 77 – Amostra 3 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 165 |
| Tabela 78 – Amostra 3 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 165 |
| Tabela 79 – Amostra 3 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 166 |
| Tabela 80 – Amostra 3 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 166 |
| Tabela 81 – Amostra 4 - Tarefa lms: Análise dos dados | 170 |
| Tabela 82 – Amostra 4 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 170 |
| Tabela 83 – Amostra 4 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 170 |
| Tabela 84 – Amostra 4 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 171 |
| Tabela 85 – Amostra 4 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 171 |
| Tabela 86 – Amostra 5 - Tarefa lms: Análise dos dados | 175 |
| Tabela 87 – Amostra 5 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 175 |
| Tabela 88 – Amostra 5 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 175 |
| Tabela 89 – Amostra 5 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 176 |
| Tabela 90 – Amostra 5 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 176 |
| Tabela 91 – Amostra 6 - Tarefa lms: Análise dos dados | 180 |
| Tabela 92 – Amostra 6 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 180 |
| Tabela 93 – Amostra 6 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 180 |
| Tabela 94 – Amostra 6 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 181 |
| Tabela 95 – Amostra 6 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 181 |
| Tabela 96 – Amostra 7 - Tarefa lms: Análise dos dados | 185 |
| Tabela 97 – Amostra 7 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 185 |
| Tabela 98 – Amostra 7 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 185 |
| Tabela 99 – Amostra 7 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 186 |
| Tabela 100 – Amostra 7 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 186 |
| Tabela 101 – Amostra 8 - Tarefa lms: Análise dos dados | 190 |
| Tabela 102 – Amostra 8 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 190 |
| Tabela 103 – Amostra 8 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 190 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 104–Amostra 8 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 191 |
| Tabela 105–Amostra 8 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 191 |
| Tabela 106–Amostra 9 - Tarefa lms: Análise dos dados | 195 |
| Tabela 107–Amostra 9 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 195 |
| Tabela 108–Amostra 9 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 195 |
| Tabela 109–Amostra 9 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 196 |
| Tabela 110–Amostra 9 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 196 |
| Tabela 111–Amostra 10 - Tarefa lms: Análise dos dados | 200 |
| Tabela 112–Amostra 10 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100) | 200 |
| Tabela 113–Amostra 10 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100) | 200 |
| Tabela 114–Amostra 10 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500) | 201 |
| Tabela 115–Amostra 10 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500) | 201 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| AD | Teste Anderson-Darling |
| ADC | <i>Analog-to-Digital Converter</i> |
| ALU | <i>Arithmetic Logic Unit</i> |
| CV | <i>Coefficient of Variation</i> |
| FPU | <i>Floating-Point Unit</i> |
| GE | <i>Group Estimator</i> |
| GEV | <i>Generalized Extreme Value</i> |
| GMLE | <i>Generalized Maximum-Likelihood Estimation</i> |
| GPD | <i>Generalized Pareto Distribution</i> |
| GPIO | <i>General Purpose Input/Output</i> |
| HM | <i>Health Monitoring</i> |
| HWM | <i>High Water Mark</i> |
| i.i.d. | independente e identicamente distribuída |
| IDE | <i>Integrated Development Environment</i> |
| IMA | <i>Integrated Modular Avionics</i> |
| IRQs | <i>Interrupt Requests</i> |
| KS | Teste Kolmogorov-Smirnov |
| LB | Teste Ljung-Box |
| MBPTA | <i>Measurement-Based Probabilistic Timing Analysis</i> |
| MBTA | <i>Measurement-Based Timing Analysis</i> |
| MLE | <i>Maximum-Likelihood Estimation</i> |
| MMU | <i>Memory Management Unit</i> |
| PMSA | <i>Protected Memory System Architecture</i> |
| PoT | <i>Peaks-over-Threshold</i> |
| PRUs | <i>Programmable Real-time Units</i> |
| pWCETs | <i>Probabilistic Worst-Case Execution Times</i> |
| PWM | <i>Pulse-Width Modulation</i> |
| RMS | <i>Ratio Max Sum</i> |
| RTOS | <i>Real-Time Operating System</i> |
| SD | <i>Secure Digital</i> |
| SDRAM | Memória de acesso aleatório dinâmica síncrona |
| SO | Sistema Operacional |
| SPI | <i>Serial Peripheral Interface</i> |
| SRAM | <i>Static Random Access Memory</i> |
| STA | <i>Static Timing Analysis</i> |
| STRs | Sistemas de Tempo Real |
| SWaP | <i>Size, Weight and Power</i> |
| TI | <i>Texas Instruments</i> |

| | |
|------|---|
| TLBs | <i>Translation Lookaside Buffers</i> |
| TP | <i>Teste Turning Point</i> |
| TVCA | <i>Thrust Vector Control Application</i> |
| TVE | <i>Teoria dos Valores Extremos</i> |
| USB | <i>Universal Serial Bus</i> |
| VMSA | <i>Virtual Memory System Architecture</i> |
| WCET | <i>Worst-Case Execution Time</i> |
| WCRT | <i>Worst-Case Response Time</i> |
| WW | <i>Teste Wald-Wolfowitz runs</i> |
| XML | <i>Extensible Markup Language</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 20 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 20 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 20 |
| 1.2 | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO | 21 |
| 2 | TEMPO REAL | 22 |
| 2.1 | ANÁLISE DO TEMPO DE EXECUÇÃO | 22 |
| 2.2 | <i>MEASUREMENT-BASED PROBABILISTIC TIMING ANALYSIS</i> | 23 |
| 2.2.1 | Amostragem | 24 |
| 2.2.2 | Avaliação da Adequação da Amostra | 24 |
| 2.2.3 | Métodos de Seleção de Valores da Amostra | 25 |
| 2.2.3.1 | Máximos de Blocos | 25 |
| 2.2.3.2 | Picos acima do Limiar | 26 |
| 2.2.4 | Estimação de Parâmetros | 27 |
| 2.2.5 | Teste de Qualidade do Ajuste | 28 |
| 2.2.6 | Obtenção do pWCET | 28 |
| 2.3 | TRABALHOS RELACIONADOS | 29 |
| 2.3.1 | Discussão sobre o emprego da TVE | 29 |
| 2.3.2 | Avaliação de técnicas e mecanismos | 30 |
| 2.3.3 | Avaliação empírica e uso de estudos de caso | 30 |
| 2.4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 32 |
| 3 | PLATAFORMA EXPERIMENTAL | 33 |
| 3.1 | ARINC 653 | 33 |
| 3.1.1 | Gerenciamento de Partições | 34 |
| 3.1.2 | Gerenciamento de Processos | 37 |
| 3.1.3 | Gerenciamento de Tempo | 39 |
| 3.2 | BEAGLEBONE | 40 |
| 3.3 | RECURSOS DE <i>SOFTWARE</i> | 44 |
| 3.4 | COLETA DE MEDIÇÕES | 44 |
| 3.5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 47 |
| 4 | CENÁRIOS DE TESTE | 48 |
| 4.1 | COMPORTAMENTO TEMPORAL DO SISTEMA OPERACIONAL | 48 |
| 4.2 | CASO 1: TAREFA DE INTERESSE | 52 |
| 4.3 | CASO 2: VARIAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA | 53 |
| 4.4 | CASO 3: INTERFERÊNCIA INDIRETA ENTRE PARTIÇÕES | 56 |
| 4.5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 57 |
| 5 | MEDIÇÕES E ANÁLISES | 60 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.1 | CENÁRIO 1 | 61 |
| 5.1.1 | Análise variando o tamanho do bloco | 62 |
| 5.1.2 | Análise variando a quantidade de blocos | 65 |
| 5.1.3 | Análise da dispersão das amostras | 67 |
| 5.2 | CENÁRIO 2 | 69 |
| 5.2.1 | Análise preliminar da Amostra 1 | 69 |
| 5.2.2 | Análise variando o tamanho do bloco (Amostra 1) | 71 |
| 5.2.3 | Análise variando a quantidade de blocos (Amostra 1) | 73 |
| 5.2.4 | Análise preliminar da Amostra 10 | 75 |
| 5.2.5 | Análise variando o tamanho do bloco (Amostra 10) | 77 |
| 5.2.6 | Análise variando a quantidade de blocos (Amostra 10) | 79 |
| 5.2.7 | Análise da dispersão das amostras | 81 |
| 5.3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 83 |
| 6 | CONCLUSÃO | 85 |
| 6.1 | RECONHECIMENTO | 86 |
| | REFERÊNCIAS | 87 |
| | APÊNDICE A – SCRIPT R | 93 |
| | APÊNDICE B – RESULTADOS DO CENÁRIO 1 | 100 |
| | APÊNDICE C – RESULTADOS DO CENÁRIO 2 | 151 |

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de tempo real são sistemas computacionais que estão sujeitos a requisitos de natureza temporal em resposta à ocorrência de eventos no ambiente. Assim, além do seu valor intrínseco de computação, a correteza do comportamento desses sistemas depende do tempo em que os resultados são produzidos. Uma reação que ocorre após o prazo estabelecido (*deadline*) pode perder seu valor ou ter consequências catastróficas, dependendo da criticalidade do sistema (BUTTAZZO, 2011).

Quanto ao caráter de criticalidade, os sistemas podem ser classificados em não críticos (*soft real-time*) e críticos (*hard real-time*). Em sistemas não críticos, o não cumprimento dos requisitos temporais das tarefas implica apenas na redução de utilidade da aplicação. Já em sistemas críticos, o descumprimento pode ter consequências graves e perigosas no sentido econômico e de colocar em risco vidas humanas (OLIVEIRA, 2018).

Um número cada vez maior de aplicações depende do controle por computador, por conseguinte, a computação em tempo real se tornou um aspecto relevante na sociedade contemporânea (BUTTAZZO, 2011). Exemplos de aplicações que requerem computação em tempo real incluem: controle de usinas químicas e nucleares (KWAK *et al.*, 2006), aplicações automotivas (VRACHKOV; TODOROV, 2018), sistemas aviônicos (SHIN *et al.*, 2017), entre outros.

Dentre as aplicações citadas, várias se enquadram na categoria de sistemas críticos. Nesse tipo de sistema é necessário que exista uma garantia de que os requisitos temporais serão cumpridos. Para que isso seja possível, a abordagem de desenvolvimento utilizada também deve fornecer um mecanismo para análise de escalonabilidade (*schedulability analysis*) das tarefas do sistema, que deve considerar como premissa a carga computacional da aplicação (hipótese de carga) e as faltas que podem ocorrer sem comprometer a garantia (hipótese de faltas) (OLIVEIRA, 2018).

Para que seja possível garantir o cumprimento dos *deadlines*, também é preciso estudar o comportamento do sistema no pior caso. Ou seja, é necessário que sejam conhecidos os piores comportamentos de *hardware* e *software* para garantir que os prazos sejam cumpridos nessas situações. São analisados no sistema, portanto: o pior fluxo de controle para cada tarefa, os piores dados de entrada e combinação de eventos externos, o pior caso de sincronização de tarefas, o pior comportamento de memórias *cache*, *pipeline*, barramentos, etc. A partir disso, é necessário considerar todas as combinações possíveis dos elementos envolvidos, buscando o pior caso absoluto, ou seja, o pior caso global. O tempo de execução no pior caso (*Worst-Case Execution Time*, WCET) para cada tarefa (individual, sem interrupções) deve ser estimado nesse cenário de pior caso global. A partir dessa informação, o tempo de resposta no pior caso (*Worst-Case Response Time*, WCRT) é obtido para cada tarefa, combinando a execução das várias tarefas (OLIVEIRA, 2018).

Em se tratando do projeto dos sistemas de tempo real, as soluções em certos setores de aplicação, tais como as indústrias automobilística e aeroespacial, passaram a almejar que

o *hardware* utilizado tenha capacidade de processamento com tamanho, peso e potência (*Size, Weight and Power, SWaP*) minimizados (OTTERNESS *et al.*, 2017; KOSMIDIS *et al.*, 2016a). Nesse sentido, o aumento nas necessidades de integração das unidades de processamento e de eficiência criou a demanda pelo uso de processadores de maior desempenho. Esse tipo de processador geralmente apresenta elementos computacionais modernos, tais como memórias *cache*, *pipelines* superescalares e mecanismos de predição de fluxo (*branch prediction*). O uso dessas arquiteturas torna complexa a determinação do tempo máximo de execução de uma tarefa, em razão da variabilidade temporal que é gerada. Nesse contexto, os métodos probabilísticos/estatísticos de análise de tempo de execução emergiram como um paradigma promissor para superar as limitações das abordagens tradicionais de análise determinística de tempo, através do fornecimento de estimativas de WCET probabilisticamente seguras (CAZORLA *et al.*, 2019).

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a aplicabilidade da Análise de Tempo Probabilística Baseada em Medições (*Measurement-Based Probabilistic Timing Analysis, MBPTA*), baseada na Teoria dos Valores Extremos, para estimar o WCET, no caso específico de um sistema operacional relevante para sistemas de tempo real. Foi escolhida a especificação ARINC 653, a qual define uma interface de sistema operacional de tempo real que é usada em sistemas aviônicos.

Este trabalho tem enfoque na questão da estimativa do WCET, não sendo, portanto, tratada a obtenção do WCRT a partir do WCET das tarefas individuais.

1.1.2 Objetivos Específicos

Neste trabalho, busca-se avaliar a aplicabilidade da MBPTA no contexto de arquiteturas complexas, ou seja, processadores com vários recursos de aceleração implementados no *hardware* (*cache, pipeline* superescalar, etc.). Para tanto, os experimentos foram realizados em um processador equipado com recursos desse tipo.

Deseja-se que os métodos e técnicas avaliados possibilitem obter estimativas confiáveis para os tempos de execução no pior caso e, conseqüentemente, garantir a segurança operacional e fornecer a previsibilidade do sistema, equilibrando esforços entre confiabilidade e custo. Ou seja, deseja-se reduzir o custo testando o mínimo possível e garantir a confiabilidade maximizando a confiança de que os requisitos temporais são cumpridos.

A principal contribuição deste trabalho é a avaliação experimental da aplicação da MBPTA para estimação do WCET em um *hardware* com recursos de aceleração complexos,

executando um sistema operacional que atende aos aspectos funcionais e temporais exigidos pela especificação ARINC 653.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 2 apresenta os tipos dominantes de análise de tempo de execução na literatura de tempo real e o caso específico da Análise Probabilística de Tempo Baseada em Medições. O Capítulo 3 contém as características principais acerca da especificação e da plataforma experimental adotadas e também apresenta os recursos de *software* utilizados para realizar a amostragem de tempos de execução. O Capítulo 4, por sua vez, apresenta casos de teste que buscam avaliar o comportamento temporal da aplicação e fatores observados que podem causar variabilidade. Cenários foram escolhidos para aplicação da técnica no Capítulo 5 e os resultados das medições e análises realizadas sobre eles são apresentados. Por fim, as conclusões deste trabalho são apresentadas no Capítulo 6.

2 TEMPO REAL

Em se tratando de sistemas de tempo real, há uma necessidade intrínseca de que se analise o comportamento temporal da aplicação no intuito de garantir que os requisitos temporais serão cumpridos. É por meio dessa análise que se almeja prever uma estimativa do pior tempo de execução da tarefa, todavia, muitos são os fatores que dificultam a obtenção de uma estimativa segura, como, por exemplo, a complexidade do *hardware* e *software* adotados e também a complexa tarefa para o desenvolvedor em precisar quais seriam as condições que levariam ao pior estado de execução da tarefa (BUTTAZZO, 2011; OLIVEIRA, 2018). As seções a seguir apresentam as diversas abordagens encontradas na literatura acerca do tema, com enfoque específico na análise probabilística de tempo baseada em medições, bem como uma seleção dos trabalhos relacionados mais relevantes.

2.1 ANÁLISE DO TEMPO DE EXECUÇÃO

Existem na literatura dois tipos dominantes de análise do tempo de execução:

1. **Métodos Estáticos** (*Static Timing Analysis, STA*)

Nessa abordagem, a estimativa do valor do WCET não é obtida através da execução do programa em um *hardware* real ou através de uma simulação. Em vez disso, é feita uma análise com o código do programa e informações sobre valores de entrada, usando um modelo abstrato do *hardware* (DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019). Para garantir um resultado seguro por meio dessa análise, é preciso obter informações detalhadas e em quantidade suficiente sobre os principais recursos internos e externos do sistema (CAZORLA *et al.*, 2019).

2. **Métodos baseados em Medição** (*Measurement-Based Timing Analysis, MBTA*)

Já no caso dos métodos baseados em medição, o programa é executado em um *hardware* real ou executado através de uma simulação, sendo possível obter uma estimativa do WCET. São selecionados para a medição conjuntos de valores de entrada e configurações iniciais de *hardware* que geram o pior comportamento temporal da aplicação, seja por caminhos executados ou estados de *hardware* atingidos. Na sua forma mais simples, uma amostragem dos tempos de execução do programa é coletada e o tempo máximo de execução observado (*High Water Mark, HWM*) é utilizado como a aproximação para o WCET, podendo ser também usado com uma multiplicação por um fator de segurança (e.g. 20%) (DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019).

Com o surgimento de elementos de *hardware* de alto desempenho, dificuldades foram apresentadas aos métodos de análise STA e MBTA. A STA necessita de modelos de tempo precisos para calcular o tempo de execução das instruções individuais do processador e dos blocos básicos dos programas. Com esse tipo de *hardware*, pode ocorrer que informações de

tempo imprecisas ou incompletas sejam consideradas (CAZORLA *et al.*, 2019). Já a MBTA é a técnica mais usada na indústria, devido à sua boa relação custo-benefício (CAZORLA *et al.*, 2019). No entanto, não é garantido que o HWM medido seja o verdadeiro tempo de execução no pior caso, uma vez que não são conhecidas as condições para que o WCET aconteça, nem a frequência com que ele ocorre, podendo ser raro seu acontecimento (OLIVEIRA, 2018).

Em face das dificuldades apresentadas aos métodos determinísticos supracitados, um novo paradigma de análise de tempo foi recentemente proposto: a análise temporal probabilística. Esse tipo de análise emprega métodos estatísticos à análise de temporização, visando mitigar algumas das limitações das técnicas existentes para fornecer estimativas de WCET. Para tanto, a análise não se detém sobre uma execução única da aplicação, porém acerca de um conjunto de execuções consecutivas, que permitem que a estimação do WCET passe a ser feita através de uma distribuição de probabilidades, ao invés de um valor único escalar (DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019).

Este trabalho tem enfoque na técnica de Análise Probabilística de Tempo Baseada em Medições (MBPTA - *Measurement-Based Probabilistic Timing Analysis*). A MBPTA determina limites probabilísticos para o WCET das tarefas. Os chamados Tempos Probabilísticos de Execução de Pior Caso (pWCETs, *Probabilistic Worst-Case Execution Times*) são compostos de um valor limite e uma probabilidade associada de que esse seja excedido em qualquer execução individual da tarefa (CAZORLA *et al.*, 2019).

2.2 MEASUREMENT-BASED PROBABILISTIC TIMING ANALYSIS

A principal ferramenta atualmente empregada pela MBPTA é a Teoria dos Valores Extremos (TVE) (DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019), um ramo da estatística projetado para estimar a probabilidade de eventos extremos ou eventos com baixa probabilidade de ocorrência (COLLES, 2001). Uma estimativa do WCET de uma tarefa pode ser obtida a um determinado nível de confiança estatística, por meio do uso de medição para obter dados e da TVE para modelar o formato da distribuição dos tempos extremos de execução. A TVE pode prever a probabilidade de ocorrência de valores de tempo de execução que excedam os que foram observados, deduzindo a ocorrência de eventos cujas probabilidades são menores do que as probabilidades dos eventos já observados (DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019).

A aplicação da TVE pela MBPTA pode ser usualmente dividida em seis etapas. A primeira delas consiste em coletar uma amostra representativa de tempos de execução que seja suficientemente grande. Em seguida, é verificada a adequação da amostra obtida. A terceira etapa consiste em utilizar um método específico para selecionar valores da amostra. A partir dessa seleção, é feita a estimativa dos parâmetros da curva de distribuição. A quinta etapa consiste em verificar se o modelo gerado é adequado, em caso afirmativo, a sexta e última etapa consiste na obtenção do pWCET com base na probabilidade de excedência desejada a partir do modelo gerado (CAZORLA *et al.*, 2019; DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019; SILVA *et al.*, 2018). As etapas serão explicadas em mais detalhes nas seções a seguir.

2.2.1 Amostragem

Para realizar a amostragem, compete inicialmente ao desenvolvedor a tarefa de definir cenários para execução do programa. Diversas são as variantes que podem ser empregadas, dentre elas, pode-se citar a própria natureza do programa usado para validação. Usualmente para fins de pesquisa, o programa utilizado faz parte de pacotes de *Benchmarks* usados no meio científico para aplicações de tempo real, tais como os do projeto Mäladarlen (GUSTAFSSON *et al.*, 2010), TACLeBench (FALK *et al.*, 2016), conjunto automobilístico EEMBC AutoBench (EEMBC, s.d.), entre outros.

Outro quesito importante é a escolha dos dados de entrada a serem empregados, que podem ser fixos ou variáveis, escalares ou compostos de um conjunto de valores, mas, sobremaneira, escolhidos de forma que possivelmente o caminho de execução do programa seja o mais extenso ou, em outras palavras, torne propensa a ocorrência do WCET. Essa é uma escolha difícil, pois geralmente as condições para que o WCET ocorra são desconhecidas (GRIFFIN; BURNS, 2010; ABELLA *et al.*, 2014).

Além do mais, outro aspecto do cenário está relacionado às configurações de *hardware*, que podem ser alteradas de forma a habilitar ou não certos recursos que afetam o comportamento temporal, tais como memórias *cache* e *branch prediction*. Mas não apenas isso, o estado do *hardware* previamente à execução do programa pode afetar os resultados obtidos. Uma possível solução para o problema levantado versa que entre os testes sejam redefinidos, i.e. restaurados ao estado inicial padrão, os recursos do processador compartilhados, no entanto, perde-se a característica cenário real de execução, no qual redefinições dessa natureza não são realizadas (GRIFFIN; BURNS, 2010).

Após definir o cenário de teste, outra questão em aberto na literatura da MBPTA é a definição do tamanho da amostra que deve ser coletada. É importante que a amostra seja grande o suficiente para coletar tempos de execução grandes e de baixa probabilidade de ocorrência, o que contribui para que a amostra seja representativa do comportamento temporal da aplicação (GRIFFIN; BURNS, 2010; ABELLA *et al.*, 2014). Todavia, amostras muito grandes acarretam em grande esforços, sendo, portanto, necessário um balanço entre as duas premissas. Uma sugestão para calcular um valor mínimo de tamanho de amostra foi feita por (CUCU-GROSJEAN *et al.*, 2012). A abordagem propõe que sejam feitas $N_{(current)} + N_{(delta)}$ observações, para em seguida aumentar $N_{(current)}$ de $N_{(delta)}$ a cada iteração. Para cada uma delas é feita a projeção da cauda com a TVE, e se a diferença entre as duas distribuições for inferior a um limiar definido, o processo é interrompido.

2.2.2 Avaliação da Adequação da Amostra

Os primeiros resultados na teoria dos valores extremos exigiram que a amostra de observações fosse independente e identicamente distribuída (i.i.d.). Trabalhos posteriores mostraram que a TVE também pode ser usada no caso de uma série de observações estacionárias, mas não

necessariamente independentes (DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019). Além disso, os tempos de execução devem ser produzidos por um processo aleatório e estacionário, e é necessário que a distribuição dos tempos de execução máximos possa ser ajustada a uma distribuição assintótica de valores extremos (DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019). Evidências de que essas propriedades são atendidas podem ser produzidas usando testes estatísticos apropriados:

- **Teste Anderson-Darling (AD):** testa se os valores da amostra pertencem a uma mesma distribuição (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2017; REGHENZANI *et al.*, 2019c).
- **Teste Kolmogorov-Smirnov (KS):** avalia se duas amostras são oriundas de uma mesma distribuição (HERNANDEZ *et al.*, 2016; FERNANDEZ *et al.*, 2017; KOSMIDIS *et al.*, 2016b; SILVA *et al.*, 2017; REGHENZANI *et al.*, 2019c).
- **Teste Ljung-Box (LB):** testa a independência nas observações (FERNANDEZ *et al.*, 2017; KOSMIDIS *et al.*, 2016b; SILVA *et al.*, 2017; CIVIT *et al.*, 2018).
- **Teste Turning Point (TP):** testa a existência de correlação entre observações vizinhas (OLIVEIRA, 2018).
- **Teste Wald-Wolfowitz runs (WW):** testa a aleatoriedade da amostra e se os eventos são amostrados de uma população estacionária (HERNANDEZ *et al.*, 2016; ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2017).

2.2.3 Métodos de Seleção de Valores da Amostra

Dois teoremas da TVE e métodos associados foram empregados na literatura sobre MBPTA:

- **Máximos de Blocos (BM, *Block Maxima*)**, baseado no teorema de Fisher-Tippett-Gnedenko (COLES, 2001).
- **Picos acima do Limiar (PoT, *Peaks-over-Threshold*)**, baseado no teorema de Pickands-Balkema-de Haan (COLES, 2001).

Os teoremas nos quais a TVE se baseia mostram que a distribuição assintótica da cauda de uma amostra de variáveis aleatórias, independentes e identicamente distribuídas converge para famílias de distribuições conhecidas como Valor Extremo Generalizado (GEV - *Generalized Extreme Value*) e Distribuição de Pareto Generalizada (GPD - *Generalized Pareto Distribution*), no caso do uso dos métodos BM e PoT respectivamente (CAZORLA *et al.*, 2019; COLES, 2001).

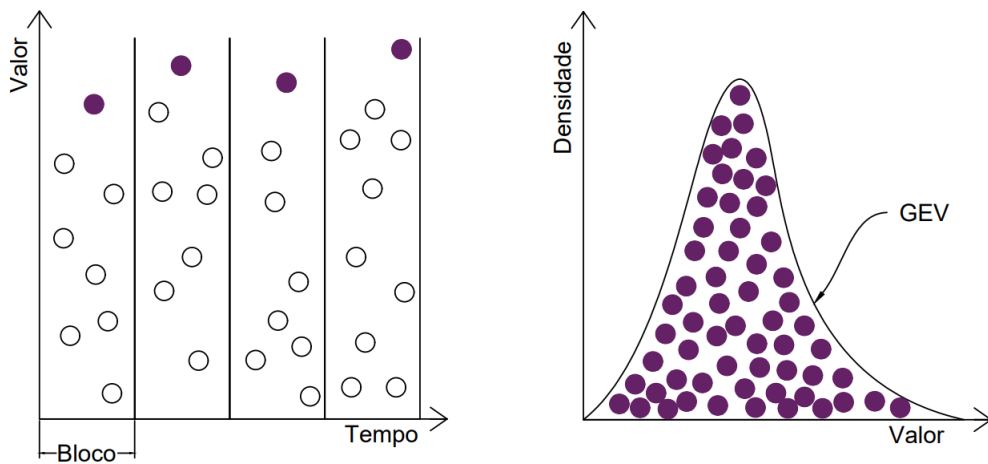
2.2.3.1 Máximos de Blocos

O método Máximos de Blocos divide a amostra em blocos de tamanho fixo e obtém o valor máximo para cada bloco. A TVE tenta então ajustar uma distribuição da família GEV

sobre o conjunto de valores resultante. Essa será uma distribuição invertida de Weibull, Gumbel ou Fréchet, dependendo do parâmetro de forma. A forma paramétrica da GEV é mostrada na Equação (1). Os parâmetros ξ , σ e μ são conhecidos como forma, escala e local, respectivamente. A forma ξ , determina se a distribuição resultante é a Gumbel (conhecida por exponencial ou de cauda leve), quando $\xi = 0$, ou a Weibull (conhecida por cauda curta), quando $\xi < 0$, ou Fréchet (conhecida por cauda pesada), quando $\xi > 0$ (CAZORLA *et al.*, 2019; COLES, 2001). Uma representação da aplicação do método pode ser observada na Figura 1.

$$G(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \exp \left[- \left(1 + \xi \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right] & \xi \neq 0 \\ \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right] & \xi = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Figura 1 – Exemplo de aplicação do método BM



Fonte – Do autor.

Uma questão fundamental e em aberto acerca da aplicação do método é a escolha do tamanho do bloco a ser usado. Sabe-se que quanto maior o tamanho do bloco adotado, há uma maior possibilidade de aderência do modelo gerado à cauda da distribuição dos valores amostrados. Todavia, o tamanho dos blocos define a quantidade de valores da amostra original que será utilizada no modelo, isto é, quanto maior o tamanho do bloco, menos blocos são gerados, o que implica em menos valores da amostra original na análise (CUCU-GROSJEAN *et al.*, 2012).

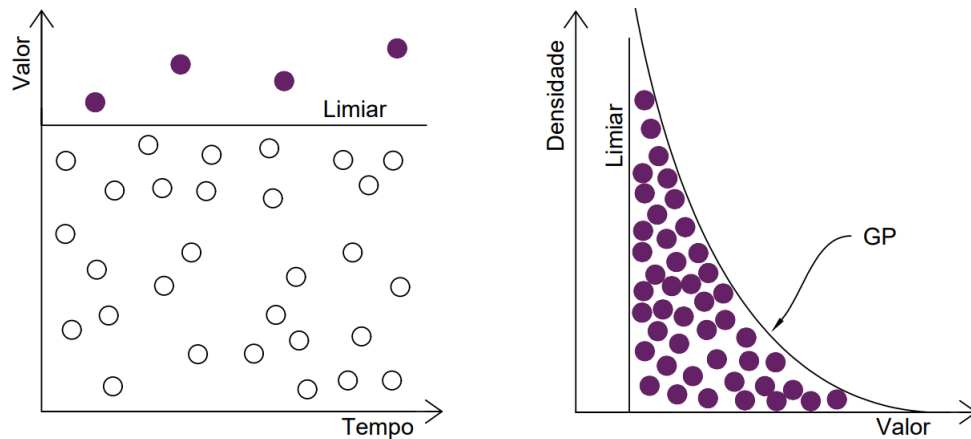
2.2.3.2 Picos acima do Limiar

O método Picos acima do Limiar utiliza um valor escolhido como limite para desempenhar o papel de filtro, em que apenas observações que excedam o valor limite são selecionadas. A TVE, por sua vez, busca ajustar uma distribuição da família GPD sobre o conjunto de valores filtrados. Os parâmetros ξ , σ^* e μ são conhecidos como forma, escala e local, respectivamente.

A notação σ^* é para denotar que, apesar de mesmo nome, o parâmetro não é o mesmo que o da distribuição GEV. A forma ξ , de maneira análoga à GEV, determina qual a distribuição resultante, podendo ser Exponencial ($\xi = 0$), Beta ($\xi < 0$) ou Pareto ($\xi > 0$), cuja forma paramétrica é mostrada na Equação (2), onde $\sigma^* > 0$, $x \geq 0$ quando $\xi \geq 0$ e $0 \leq x \leq -\sigma^*/\xi$ quando $\xi < 0$ (CAZORLA *et al.*, 2019; COLES, 2001). Uma representação da aplicação do método pode ser observada na Figura 2.

$$H(x; \mu, \sigma^*, \xi) = \begin{cases} 1 - [1 + \xi (\frac{x - \mu}{\sigma^*})]^{-\frac{1}{\xi}} & \xi \neq 0 \\ 1 - \exp(-\frac{x - \mu}{\sigma^*}) & \xi = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Figura 2 – Exemplo de aplicação do método PoT



Fonte – Do autor.

De maneira análoga ao método Máximos de Blocos, uma questão fundamental e em aberto acerca da aplicação do PoT é a escolha do limiar a ser adotado. Quanto maior o valor do limiar, menos dados da amostra original são considerados no modelo, podendo incorrer que o pWCET estimado seja muito grande (DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019).

2.2.4 Estimação de Parâmetros

Depois que os valores da amostra são selecionados por meio de Máximos de Blocos ou Picos acima do Limiar, é necessário que os parâmetros que definem a curva GEV ou GPD sejam estimados. Os parâmetros são selecionados de forma que a curva se ajuste aos valores observados nas medições (COLES, 2001). Os métodos mais usuais para estimar os parâmetros da distribuição de valores extremos são:

- *Maximum-likelihood estimation* (MLE) (COLES, 2001);
- *Generalized maximum-likelihood estimation* (GMLE) (MARTINS; STEDINGER, 2000);
- *L-moments* (HOSKING, 1990);

- *Bayesian Inference* (COLES, 2001).

2.2.5 Teste de Qualidade do Ajuste

Após o ajuste dos parâmetros do modelo, são efetuados testes de qualidade de ajuste (*goodness-of-fit*) para verificar a adequação do modelo obtido (curva GEV ou GPD) às medições amostradas (COLES, 2001). A verificação pode ser:

- Visual (e.g. gráficos Quantil-Quantil) (COLES, 2001);
- Avaliação numérica (LAIO, 2004).

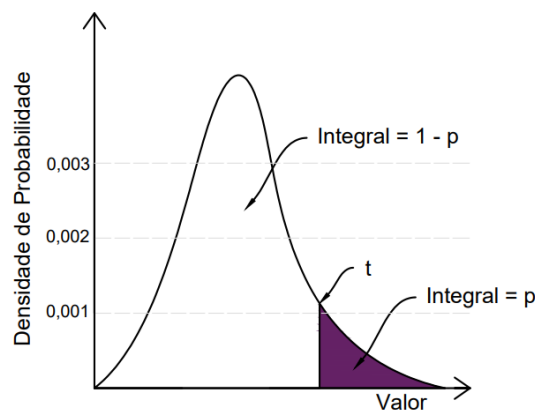
2.2.6 Obtenção do pWCET

Tendo o modelo sido verificado adequado, a obtenção do pWCET e sua respectiva probabilidade de excedência é feita a partir do modelo ajustado (OLIVEIRA, 2018). Isso é possível, uma vez que o modelo gerado representa uma função de densidade de probabilidade dos pWCETs estimados. Desta maneira, para encontrar a probabilidade de excedência de um determinado valor t , basta que seja calculada a área contida no intervalo $[t, \infty[$ e abaixo da curva da função de densidade (COLES, 2001; DEVORE, 2010).

Em outras palavras, utiliza-se a integral da função $f(x)$ de densidade (Equação 3) para inferir o quantil associado à probabilidade p de ocorrência de valores superiores a t (COLES, 2001; DEVORE, 2010). Um exemplo do processo de obtenção do pWCET pode ser observado na Figura 3.

$$\int_t^{\infty} f(x)dx = p \quad (3)$$

Figura 3 – Exemplo do processo de obtenção do pWCET



Fonte – Do autor.

2.3 TRABALHOS RELACIONADOS

O uso de métodos estatísticos para fornecer estimativas de WCET é um tema que ainda está sendo estudado, não havendo pleno consenso na literatura acerca de certos aspectos de sua aplicação. Por isso, foi realizada uma pesquisa exploratória do estado da arte acerca do tema.

São vastos os estudos relacionados à MBPTA na literatura, sendo possível destacar três áreas relevantes a esta pesquisa:

1. Discussão sobre o emprego da técnica da TVE, incluindo análise de dependência, i.i.d. e representatividade das observações, podendo também abordar boas práticas na aplicação da técnica;
2. Avaliação de técnicas e mecanismos que tornem propício o uso da MBPTA;
3. Avaliação empírica e uso de estudos de caso.

Apresenta-se a seguir uma breve revisão dos trabalhos relacionados mais relevantes a este trabalho.

2.3.1 Discussão sobre o emprego da TVE

Dentre os trabalhos recentes nessa área e relevantes a esta dissertação, destacamos:

- (DAVIS; CUCU-GROSJEAN, 2019) abrange técnicas probabilísticas de análise temporal para sistemas em tempo real. O trabalho é um *survey* que fornece uma taxonomia dos diferentes métodos utilizados e uma classificação das pesquisas existentes. É fornecida uma revisão detalhada cobrindo as principais áreas temáticas, mecanismos e estudos de caso.
- (ABELLA *et al.*, 2017) apresenta uma discussão sobre representatividade na aplicação da MBPTA para estimar a distribuição pWCET de um programa, analisando o tempo de resposta de diferentes recursos de *hardware* e identificando aqueles que podem levar a tipos radicalmente diferentes de distribuição.
- (CAZORLA *et al.*, 2019) apresenta um *survey* que propõe uma taxonomia das principais técnicas empregadas na análise temporal probabilística, abordando suas respectivas limitações e desafios.
- (REGHENZANI *et al.*, 2019a) discute o uso do limite superior da distribuição do pWCET, quando a distribuição é Weibull (também conhecida como cauda leve) e é usada a sua versão exponencial (Gumbel), podendo ocorrer que o valor do pWCET seja subestimado.
- (REGHENZANI *et al.*, 2019b) aborda a análise sistemática na validação dos testes de hipótese da TVE, destacando erros comuns no uso da técnica.

2.3.2 Avaliação de técnicas e mecanismos

Duas abordagens são consideradas nesse sentido: alteração de *hardware* para ter comportamento temporal aleatório e uso de mecanismos de *software* que ocasionem randomização. Apesar desta dissertação de mestrado não abordar o emprego desse tipo de ferramenta, os trabalhos são relevantes acerca dos tipos de testes estatísticos utilizados e suas respectivas significâncias, bem como *benchmarks* e arquiteturas de processador empregados. Sendo assim, podemos citar:

- (HERNANDEZ *et al.*, 2016) propõe um novo tipo de *design* de *cache*, chamado *Random Modulo* (RM), que possui comportamento probabilístico. Para validação da proposta, foi utilizado um processador LEON3 implementado sobre FPGA e ASIC. O *Benchmark* adotado foi o conjunto automotivo EEMBC. Os testes de hipótese usados para validar a amostra foram Wald-Wolfowitz e Kolmogorov-Smirnov com 5% de significância.
- (FERNANDEZ *et al.*, 2017) apresenta uma plataforma de *hardware* aleatorizado, com alterações na *cache* e na FPU. Para validação da proposta, foi utilizado o *hardware* 4-core LEON3. O *Benchmark* adotado foi o *Thrust Vector Control Application* (TVCA) com 3000 execuções. Os testes de hipótese usados para validar a amostra foram Ljung-Box e Kolmogorov-Smirnov com 5% de significância.
- (KOSMIDIS *et al.*, 2016b) apresenta uma ferramenta para randomização de *software* chamada TASA. Para tanto, foi utilizado *hardware* FPGA, utilizando a arquitetura SPARC V8 LEON3. O *Benchmark* adotado foi o conjunto automotivo EEMBC com 1000 execuções. Os testes de hipótese usados para validar a amostra foram Ljung-Box e Kolmogorov-Smirnov com 5% de significância.
- (KOSMIDIS *et al.*, 2018) apresenta uma ampla discussão acerca de métodos para randomização de *software* no contexto da especificação ARINC653. A estimação do pWCET foi realizada utilizando o *software* de análise temporal RVS (RAPITA SYSTEMS LTD, s.d.).
- (LIMA; BATE, 2017) propõe uma nova abordagem de *software* para a randomização da medição temporal, denominada IESTA. Dois estudos foram feitos, adotando como *benchmark* o algoritmo *binary search* do projeto Mälardalen e também os dados de um controlador de motor de aeronave. A técnica adotada foi Picos acima do Limiar, em que os limiares foram escolhidos por tentativa e erro. A verificação de qualidade de ajuste foi feita por meio de gráficos Quantil-Quantil.

2.3.3 Avaliação empírica e uso de estudos de caso

O enfoque desta dissertação de mestrado se encontra nessa vertente da literatura sobre MBPTA. Artigos relacionados relevantes são citados a seguir:

- (ARCARO *et al.*, 2018) aborda a questão da confiabilidade e aperto das estimativas de pWCET produzidas pelos modelos GP e Exponencial ao aplicar a MBPTA através da abordagem PoT. Os testes de hipóteses adotados foram Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov, Ljung-Box e Wald-Wolfowitz, apresentados na forma de gráficos *box and whisker*. Para estimação dos parâmetros foram considerados três diferentes métodos: MLE, GMLE e L-moments.
- (WARTEL *et al.*, 2015) discute a aplicação da MBPTA a um sistema aviônico real no contexto de soluções de núcleo único de *software* e soluções *multicore* de *hardware* com um sistema operacional ARINC 653.
- (SILVA *et al.*, 2018) realiza uma análise empírica de adequação da MBPTA para estimar o pWCET usando um *hardware* de arquitetura complexa e sistema operacional Linux. Os testes de hipóteses adotados foram Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov, Ljung-Box e Wald-Wolfowitz, apresentados na forma de gráficos *box and whisker*. Para estimação dos parâmetros foram considerados três diferentes métodos: MLE, GMLE e L-moments. A abordagem adotada foi BM. O *benchmark* utilizado faz parte do projeto Mälardalen - algoritmo *bsort*. Resultados da implementação demonstraram que o aumento do tamanho da amostra produziu estimativas com maior confiabilidade e aperto limitado.
- (SILVA *et al.*, 2017) aborda a questão da confiabilidade e aperto das estimativas de pWCET produzidas pelos modelos GEV e Gumbel ao aplicar a MBPTA através da abordagem BM. O trabalho também avalia o uso da métrica CRPS para definir o tamanho da amostra considerado suficiente. Os testes de hipóteses adotados foram Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov, Ljung-Box e Wald-Wolfowitz. Para estimação dos parâmetros foram considerados três diferentes métodos: MLE, GMLE e L-moments. Nos experimentos, foram adotados blocos de tamanho 50 e amostras de 50000 valores. Os *benchmarks* utilizados fazem parte do projeto Mälardalen - algoritmos *bsort*, *insertsort* e *bs*.
- (CIVIT *et al.*, 2018) apresenta três métodos alternativos para modelar a distribuição de pWCET através do número finito de momentos de execução: *Group Estimator* (GE), *Ratio Max Sum* (RMS), *Coefficient of Variation* (CV). Para avaliação experimental, foi utilizado um processador LEON3, os *benchmarks* EEMBC AutoBench e Mälardalen e um estudo de caso de uma ferrovia (ETCS). O teste de adequação da amostra foi feito com o teste Ljung-Box.
- (VILARDELL *et al.*, 2019) considera como equivalentes análises de risco e sobrevivência. Para tanto, avaliam o aperto do pWCET, utilizando modelos de cauda Weibull com um subconjunto de distribuições log-côncavo ($\beta \geq 1$). Para avaliação experimental, foi utilizado um processador LEON3 e um estudo de caso de uma ferrovia (ETCS).
- (REGHENZANI *et al.*, 2019c) realiza uma análise quantitativa do poder estatístico de estimação para validação de testes de qualidade de ajuste para distribuições da TVE. São

usados os testes Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e Modified Anderson-Darling, usando a abordagem de Monte Carlo.

- (ALCON *et al.*, 2020) utiliza a MBPTA para avaliar características de variabilidade temporal de tempos de execução no contexto de uma estrutura de *software* para condução autônoma, denominada Apollo.

Podemos comparar o trabalho de Wartel *et al.* (2015) com o trabalho apresentado nesta dissertação em termos da abordagem adotada, uma vez que em ambos há um estudo de caso da aplicação da técnica MBPTA num contexto de SO compatível com a especificação ARINC 653 e *hardware* com recursos complexos. A análise da MBPTA no contexto de *hardware* de arquitetura complexa também é vista em Silva *et al.* (2018), Civit *et al.* (2018) e Alcon *et al.* (2020).

Em relação aos testes estatísticos empregados neste trabalho, Silva *et al.* (2018), Silva *et al.* (2017) e Arcaro *et al.* (2018) empregaram os mesmos testes de hipóteses. Alguns dos testes empregados também foram utilizados em Reghenzani *et al.* (2019c) e Civit *et al.* (2018).

Acerca dos métodos de seleção da amostra, a abordagem BM adotada nesta dissertação também está presente nos trabalhos de Silva *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2017). Já o método para estimação dos parâmetros MLE empregado neste trabalho também foi utilizado em Silva *et al.* (2018), Silva *et al.* (2017) e Arcaro *et al.* (2018).

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Seção 2 mostra que existem muitas variantes na aplicação da técnica MBPTA. Em diversos momentos, o desenvolvedor precisa fazer escolhas complexas para a aplicação da técnica acerca de temas que não possuem consenso na literatura. A representatividade e ajuste do modelo são questões recorrentes nos trabalhos relacionados, denotando sua significativa relevância para a MBPTA.

Dado que na literatura em geral os métodos Máximos de Blocos e Picos acima do Limiar são considerados equivalentes, não ocorrendo prevalência de um sobre o outro, o escopo desta dissertação de mestrado é limitado à aplicação do método Máximos de Blocos.

3 PLATAFORMA EXPERIMENTAL

As escolhas feitas para a plataforma experimental buscaram atender às questões básicas elencadas nos objetivos deste trabalho. A primeira delas é que o método de medição fosse empregado em um sistema experimental representativo em relação a Sistemas de Tempo Real (STRs). Já a segunda questão é que a plataforma utilizada tivesse recursos de *hardware* modernos para que fosse possível realizar análise de viabilidade da MBPTA nesse contexto.

Para tanto, adotou-se como estudo de caso um sistema operacional compatível com a ARINC 653 (uma especificação de sistema operacional para sistemas aviônicos) implementado sobre uma plataforma BeagleBone anteriormente (ARCARO, 2015). Essa plataforma foi escolhida por ser um computador de placa única, *open source* e de baixo custo, que possui recursos de aceleração por *hardware* (COLEY, 2013). Além do mais, é uma plataforma já utilizada no grupo de pesquisa em que este trabalho se insere.

Nas próximas seções serão apresentadas as características principais da especificação e da plataforma adotadas, além da configuração de suas partições e respectiva escala temporal, sendo também abordados os recursos de *software* utilizados para realizar a amostragem de tempos de execução e sua subsequente análise estatística.

3.1 ARINC 653

A ARINC 653 é uma especificação de *software* que define as características necessárias para sistemas operacionais utilizados em sistemas aviônicos modulares e integrados (*Integrated Modular Avionics*, IMA). Esse tipo de sistema permite que em um mesmo *hardware* sejam executados diversos aplicativos aviônicos de forma particionada. Para isso, a ARINC 653 descreve os requisitos de interface entre a aplicação de *software* e o Sistema Operacional (SO), e o esquema de particionamento que precisa ser atendido por ele. A especificação é dividida em três partes: a primeira contém os serviços mínimos necessários para implementação, a segunda aborda serviços opcionais que podem ser adicionados e, por fim, a terceira abrange testes de conformidade para verificar se o SO atende o padrão proposto (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

De acordo com a especificação ARINC 653, o sistema deve conter um módulo de execução que possui partições escalonadas de forma periódica. Os processos referentes ao *software* da aplicação, por sua vez, são executados nas partições. Um módulo pode possuir uma ou mais partições, porém cada partição deve estar contida em um único núcleo de processamento, isto é, todos os processos referentes a determinada partição são executados em um mesmo núcleo isolado de outras partições. Cada partição possui um conjunto de janelas de tempo específicas para execução de seus processos e regiões de memória protegidas das demais partições (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

Assim, as partições são usadas como separações funcionais dos aplicativos, cada uma delas devendo possuir sua própria memória e intervalos de tempo de processamento agendados. Dessa maneira, almeja-se que possa ser minimizada a interferência entre partições mesmo

que recursos sejam compartilhados entre elas. Se ocorrer um erro em uma partição, apenas a partição em questão será afetada; as demais partições permanecerão inalteradas (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

Vale ressaltar que, segundo a especificação, os processos de uma partição podem ser tanto periódicos como aperiódicos, podendo incorrer dentro de uma mesma partição tipos diferentes de processos de forma concorrente. Já quando se trata das partições em si, essas possuem escalonamento periódico (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

Um arquivo de configuração no formato XML (*Extensible Markup Language*) contém as principais características do módulo. É nele que é feita a declaração de partições e processos, bem como da escala temporal das partições, o mapeamento de erros e ações decorrentes de erros mapeados, entre outras informações. O integrador do sistema é responsável pela criação e manutenção do arquivo de configuração (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

A especificação ARINC 653 classifica os serviços que o SO deve fornecer, sendo eles divididos em serviços relacionados ao: gerenciamento de partições; gerenciamento de processos; gerenciamento de tempo; comunicação interpartição; comunicação intrapartição e monitoramento da saúde do sistema em diversos níveis (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

Um processador usado para sistemas operacionais ARINC 653 deve ter capacidade de processamento suficiente e acesso às entradas e saídas necessárias, mas também recursos de gerenciamento de memória e de tempo. Além disso, o processador deve permitir isolar uma partição das outras em caso de ocorrência de falhas, contando assim com recursos, como por exemplo unidades de gerenciamento de memória. Todavia, é a implementação do SO que garante a configuração e uso devido desses recursos, de maneira a garantir o isolamento temporal, espacial e de faltas (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

A seguir serão apresentadas características específicas no que tange aos serviços relacionados ao Gerenciamento de partições, Gerenciamento de processos e Gerenciamento de tempo.

3.1.1 Gerenciamento de Partições

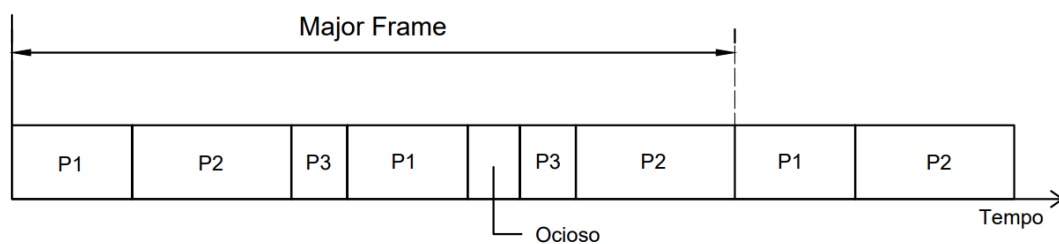
O conceito de particionamento consiste em um modelo abstrato de divisões das atividades a serem desempenhadas por um módulo central, em que faixas de tempo (particionamento temporal) e recursos de memória (particionamento de memória) são distribuídos para cada partição. Uma partição possui, assim, restrições temporais, referentes ao momento em que pode ser executada, e espaciais, referentes às regiões de memória que pode acessar (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

O escalonamento das partições é feito sobre uma base fixa e cíclica, isto é, existe um período de tempo principal, denominado *major frame*, que possui duração fixa e se repete periodicamente. As partições, por sua vez, estão escalonadas em janelas de tempo dentro do *major frame*, que possuem seu respectivo valor de início e duração esperada na escala temporal do módulo central (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

É importante salientar que, apesar do escalonamento das partições ser feito sobre uma base fixa e periódica, as partições dentro do módulo central podem executar em períodos distintos. Sendo assim, o *major frame* é definido através do mínimo múltiplo comum de todos os períodos de partição no módulo. Isso é feito para que se torne viável que cada *major frame* possua o mesmo escalonamento de janelas de tempo e os requisitos de frequência e tamanho das partições sejam respeitados (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

A Figura 4 demonstra um exemplo de escalonamento temporal de três partições, representadas por P1, P2 e P3. O espaço ocioso presente na escala temporal representa a partição padrão do módulo, que é a partição que é executada durante as janelas de tempo que não foram alocadas a nenhuma outra partição, isto é, trata-se da partição que apenas é executada no tempo ocioso do módulo.

Figura 4 – Exemplo de escala temporal de partições



Fonte – Do autor.

Para garantir o particionamento de memória, cada partição possui acesso a regiões de memória exclusivas e que foram alocadas a ela previamente, incorrendo a proibição de acesso a regiões fora desse conjunto pré-definido. A definição dos recursos de memória que são adequados para cada partição é feita em função dos requisitos de cada partição, que influenciam na escolha de tamanho e de direitos de acesso (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

Uma série de atributos são utilizados para controlar e manter a operação das partições. São eles (ARINC, 2006):

1. Atributos fixos das partições

- Identificador

Utilizado para facilitar a identificação da partição ao ser ativada e durante troca de mensagens.

- Requisitos de Memória

Denotam os limites de memória da partição.

- Período

Denota o período de ativação da partição.

- **Duração**
Denota a quantidade de tempo do processador que a partição possui.
- **Nível de Criticalidade**
Denota o nível de criticalidade da partição.
- **Requisitos de Comunicação**
Abrangem as partições e/ou dispositivos com quem a partição comunica.
- **Tabela para Monitoramento de Saúde (*Health Monitoring*, HM)**
Denota as instruções para ações necessárias referentes ao HM.
- **Ponto de Inicialização**
Denota o endereço de (re)inicialização da partição.
- **Partição de Sistema**
Indica que a partição é uma partição de sistema, ou seja, uma partição que executa em modo privilegiado e, portanto, tem acesso a recursos de hardware que são inacessíveis a outras partições.

2. Atributos variáveis das partições

- **Nível de Bloqueio**
Denota o valor atual do nível de bloqueio da partição.
- **Modo de Operação**
Denota o modo de operação da partição.
- **Condição de Inicialização**
Denota o motivo que levou à (re)inicialização da partição.

As partições podem assumir diversos modos de operação enquanto são executadas, são eles (ARINC, 2006; ARCARO, 2015):

1. *IDLE*

Nesse modo, a partição não é inicializada e não há processos em execução, mas não há alteração nas janelas de tempo a ela alocadas.

2. *COLD_START*

Nesse modo, a partição está em fase de progresso para a inicialização e, sendo assim, o escalonador de processos ainda não está habilitado.

3. *NORMAL*

Nesse modo, o escalonador de processos está habilitado, a partição já foi inicializada e o sistema está no modo de operação.

4. *WARM_START*

Nesse modo, a partição está em fase de progresso para a inicialização, e, sendo assim, o escalonador de processos ainda não está habilitado. Apesar de análogo ao modo *COLD_START*, o contexto de *hardware* em que a partição inicializa pode ser diferente, como, por exemplo, no caso de uma interrupção de energia, existir conteúdo salvo na memória que pode ser reutilizado quando a energia é restabelecida.

3.1.2 Gerenciamento de Processos

Os processos são conjuntos de instruções de código que visam atender às funcionalidades da partição em que residem. Dentro de uma mesma partição, podem existir diversos processos que são executados de forma concorrente. O comportamento dos processos é de responsabilidade da partição, não estando eles visíveis fora do seu escopo (ARINC, 2006).

Todos os recursos relacionados às partições são definidos na inicialização do sistema. Sendo assim, a criação dos processos e respectiva inicialização ocorre durante a inicialização da partição. Isso implica que a divisão dos recursos a serem usados para cada processo seja feita previamente, conferindo ao sistema um grau maior de determinismo, podendo também fornecer proteção dos recursos no nível de processo (ARINC, 2006).

Os processos de uma partição são classificados segundo seu nível de prioridade. Durante a execução da partição, qualquer processo pode sofrer preempção por outro processo de prioridade maior. Dessa forma, o processo em execução sempre será o de maior prioridade que encontra-se pronto para execução no momento (ARINC, 2006).

Uma série de atributos são utilizados para que os processos sejam suportados. Esses atributos denotam as características de cada processo e os requisitos de alocação de recursos. Os atributos podem ser fixos, quando determinados previamente à inicialização da partição e de maneira estática, ou variáveis, que podem mudar durante a execução do sistema. São eles (ARINC, 2006):

1. Atributos fixos dos processos

- Nome
Define um valor único para cada processo na partição.
- Ponto de Inicialização
Denota o endereço de inicialização do processo.
- Tamanho da Pilha
Denota o tamanho total da pilha de execução do processo.
- Prioridade Básica
Denota a prioridade do processo no momento de criação e capacidade de preemptar outros processos.

- **Período**
Denota o período de ativação para um processo periódico.
- **Capacidade Temporal**
Define a faixa de tempo de que dispõe o processo para concluir a execução.
- **Deadline**
Especifica o tipo de deadline do processo: *hard* (crítico) ou *soft* (não crítico).

2. Atributos variáveis dos processos

- **Prioridade Atual**
Denota a prioridade atual do processo, que pode variar dinamicamente durante a execução da partição.
- **Horário de Deadline**
Avaliado periodicamente para saber se a quantidade de tempo alocado é suficiente para o processo.
- **Estado do Processo**
Estado atual de operação do processo.

Os processos podem assumir diversos estados de operação enquanto são executados, são eles (ARINC, 2006; ARCARO, 2015):

1. Dormente

Nesse estado, o processo ainda não foi inicializado ou foi finalizado, não sendo capaz de receber recursos.

2. Pronto

Nesse estado, o processo está pronto para ser escalonado e executado.

3. Em execução

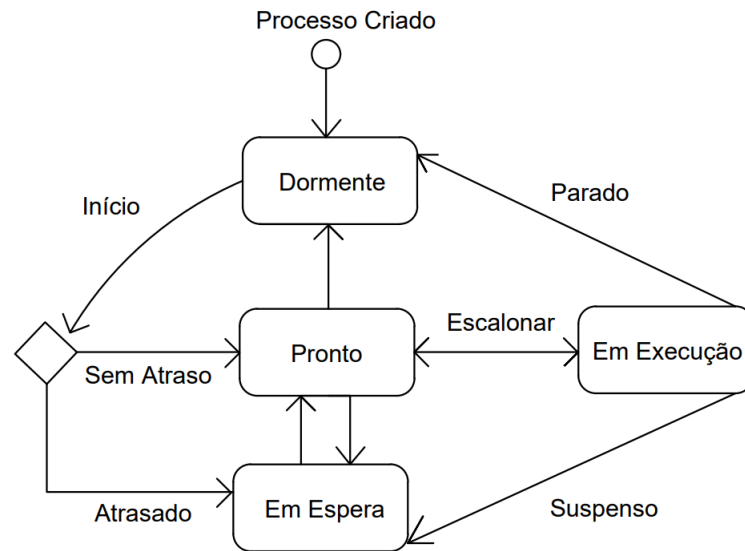
Nesse estado, o processo está em execução.

4. Em espera

Nesse estado, o processo está em espera da ocorrência de algum evento específico, que pode ser um recurso do sistema (atraso, semáforo, período, evento, mensagem, modo normal da partição ser inicializado) ou que seja suspenso e retorne ao estado dormente.

O diagrama de estado dos processos pode ser observado na Figura 5 a seguir.

Figura 5 – Diagrama de estado dos processos



Fonte – Do autor.

3.1.3 Gerenciamento de Tempo

Em sistemas de tempo real, o tempo e seu respectivo gerenciamento são fundamentais para o funcionamento do sistema. O valor do tempo é único e universal para todas as partições e tarefas executadas dentro do módulo, assim, todos os recursos temporais são derivados ou relacionados a ele (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

Cada processo possui uma capacidade de tempo determinada, que é relativa ao seu tempo de resposta. A partir dessa capacidade, é possível calcular o *deadline* do processo no momento de sua inicialização, este será a capacidade somada ao valor do tempo atual. É possível que o *deadline* seja prorrogado, por meio de um serviço chamado *REPLENISH*, desde que o processo seja executado dentro da faixa de capacidade de tempo, o *deadline* não será perdido (ARINC, 2006; ARCARO, 2015).

Os serviços que devem ser fornecidos para o gerenciamento de tempo são (ARINC, 2006; ARCARO, 2015):

- GET_TIME
Obtém o valor atual do tempo do módulo.
- TIMED_WAIT
Bloqueia o processo atual por um período definido.
- PERIODIC_WAIT
Suspende processos periódicos até o próximo momento de liberação.

- REPLENISH

Permite adiar o *deadline* do processo.

3.2 BEAGLEBONE

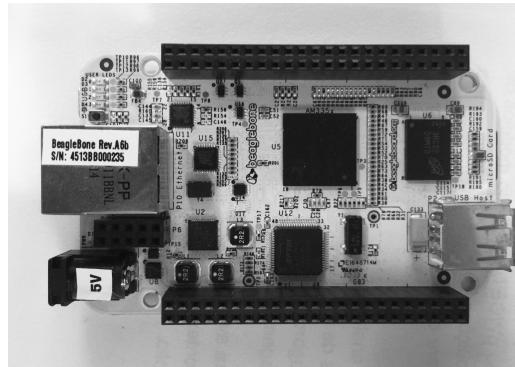
Para atender completamente aos supracitados requisitos de um Sistema Operacional de Tempo Real (*Real-Time Operating System* - RTOS) compatível com a especificação ARINC 653 seria necessário utilizar uma plataforma de comportamento determinístico no que tange aos mecanismos de temporização e processamento. Todavia, em função da tendência e interesse crescentes em se utilizar *hardware* moderno em aplicações de tempo real críticas, optou-se pela plataforma BeagleBone (Figura 6). Escolha essa que se baseou também no custo-benefício, uma vez que recursos empregados em aviãoica são robustos e de alto valor agregado, a plataforma BeagleBone se destaca como uma alternativa de baixo custo e que serve aos propósitos acadêmicos deste trabalho, isto é, explorar a aplicação da MBPTA no contexto de *hardware* com recursos de comportamento temporal sujeito a variações.

A plataforma BeagleBone é um computador de placa única e baixo custo, oriundo de projeto *open-source* da fundação Beagleboard.org (BEAGLEBOARD.ORG, 2016). Utilizando um microprocessador da Texas Instruments de baixo consumo, com núcleo da série ARM Cortex-A, a plataforma possui a capacidade de expansão de máquinas *desktop*, mas ocupando menos espaço e acarretando redução de despesas (COLEY, 2013). A seguir estão algumas das especificações técnicas da BeagleBone (COLEY, 2013):

- Microprocessador Texas Instruments (TI) AM335X (AM3358/AM3359);
- Núcleo superescalar ARM Cortex-A8 executando a 720MHz;
- Memória de acesso aleatório dinâmica síncrona (SDRAM) DDR2 de 256MB;
- 2 Unidades de Tempo Real Programáveis (*Programmable Real-time Units*, PRUs);
- 92 pinos externos;
- Conexão USB (*Universal Serial Bus*);
- Porta Ethernet;
- Entrada para cartão SD (*Secure Digital*);
- Oscilador (cristal) do núcleo do processador de 24MHz.

A Conexão USB disponibilizada pode ser usada como fonte de alimentação, comunicação via porta serial, interface de depuração e USB *device* (COLEY, 2013). Já os 92 pinos externos presentes na plataforma podem ser utilizados como GPIO (*General Purpose Input/Output*),

Figura 6 – Plataforma BeagleBone



Fonte – Do autor.

PWM (*Pulse-Width Modulation*), ADC (*Analog-to-Digital Converter*), fonte de alimentação, SPI (*Serial Peripheral Interface*), entre outros (COLEY, 2013).

No que tange ao processador AM335X, cabe destacar que o seu núcleo ARM Cortex-A8 é baseado na arquitetura ARM versão 7, denotado por ARMv7. A arquitetura ARMv7 possui três perfis (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011):

1. ARMv7-A: Perfil de Aplicação

Esse tipo de perfil emprega uma arquitetura voltada para processadores de alto desempenho, cujo sistema de memória virtual (*Virtual Memory System Architecture*, VMSA) utiliza uma unidade de gerenciamento de memória (*Memory Management Unit*, MMU).

2. ARMv7-R: Perfil de Tempo-Real

Esse tipo de perfil emprega uma arquitetura voltada para sistemas de tempo real, cujo sistema de memória empregado suporta a chamada *Protected Memory System Architecture* (PMSA), que oferece maior determinismo temporal se comparado à VMSA ao utilizar a unidade de gerenciamento de memória (MMU).

3. ARMv7-M: Perfil de Microcontrolador

Esse tipo de perfil utiliza uma variação da ARMv7 PMSA e é destinado ao processamento embarcado de baixo consumo e máximo determinismo.

O perfil ARM utilizado no processador da BeagleBone é o perfil de aplicação ARMv7-A. A seguir estão algumas das especificações técnicas do processador AM335X (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011):

- Memória de acesso aleatório (*Static Random Access Memory*, SRAM) de 64KB interna ao processador;

- Pipeline superescalar de 13 estágios *dual-issue* com execução em ordem;
- MMU com suporte a páginas de 4KB, 64KB, 1MB e 16MB e *Translation Lookaside Buffers* (TLBs) separadas para dados e instruções de 32 entradas cada;
- *Cache* L1 de instruções e de dados de 32KB com linhas de 16 palavras e interface de 128 bits;
- *Cache* L2 de 256KB com linhas de 16 palavras e interface com a *cache* L1 de 128 bits;
- Controlador de interrupções com até 128 diferentes requisições de interrupção (*Interrupt Requests*, IRQs).
- Extensão de arquitetura VFPv3 que implementa aritmética de ponto flutuante em conformidade com o padrão ANSI/IEEE.

Versando um pouco mais sobre as características do processador, a arquitetura oferece suporte a dois níveis de privilégio de execução de *software*, sendo eles (ARM, 2014):

- PL0: Sem privilégios

Esse é o nível de privilégio adotado para *software* da aplicação executado no modo usuário (*User Mode*). Há limitação de acesso a certos recursos da arquitetura, não sendo também permitido ao *software* fazer alterações de configurações pré-definidas e os acessos à memória só são possíveis em trechos não privilegiados.

- PL1: Privilegiado

Nesse modo de execução, é permitido ao *software* da aplicação acessar todos os recursos da arquitetura, bem como realizar alterações das configurações dos mesmos recursos.

É papel do *software* do sistema determinar o nível de privilégio do *software* da aplicação, dessa maneira, os recursos são alocados em função do nível de privilégio, garantindo um grau de proteção à ocorrência de falhas e interferência de outros processos e tarefas (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

Sobre recursos modernos de memória presentes no processador, cabe ressaltar a presença de memórias *cache*. A memória *cache* é uma memória de acesso rápido que contém cópias de valores presentes na memória principal. O uso de memórias *cache* permite o aumento do desempenho do sistema e redução do consumo de energia, uma vez que, ao invés de sempre precisar realizar uma busca demorada na memória principal, o núcleo pode utilizar os subconjuntos de dados presentes na memória *cache*. No caso do processador AM335X, existem dois níveis de memórias *cache*, L1 e L2. As *caches* de nível 1 (L1) são conectadas diretamente ao núcleo, existindo *caches* separadas para instruções e para dados. Já a *cache* de nível 2 (L2) é maior que a *cache* L1 e está localizada entre a *cache* L1 e a memória principal (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

Quanto à MMU empregada no processador, cabe dizer que ela tem a função de traduzir endereços de código e dados da visão virtual da memória (utilizada por programas) para os endereços físicos no sistema real (endereços eletronicamente acessados na memória). Além disso, a MMU também é responsável pelo controle de permissões de acesso à memória, ordenação de acessos e políticas de *cache* para cada região da memória. Para atingir esses objetivos, a MMU do perfil ARMv7-A utiliza tabelas de tradução, que, na arquitetura ARM, representam tabelas de páginas em vários níveis (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

Além do mais, a MMU conta com *Translation Lookaside Buffers* (TLBs), independentes para memória e dados, que são memórias *cache* para acelerar o acesso às tabelas de tradução. Isto é, as traduções recentes são armazenadas na TLB e é o primeiro recurso de memória a ser acessado pela MMU em uma consulta; apenas se a tradução requisitada não estiver na TLB, a MMU recorre à tabela de tradução na memória principal (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

Outro recurso que visa o aumento de desempenho presente na plataforma é o *pipeline* superescalar do núcleo Cortex-A8. O papel do *pipeline* é permitir a execução de múltiplas instruções de maneira concomitante, que é realizada através da divisão da execução das instruções em etapas que podem ser executadas em paralelo com as etapas de outras instruções. O núcleo de processamento é então implementado em múltiplos estágios, cada um responsável pela execução de uma (ou mais) etapas da execução das instruções. O Cortex-A8 é um processador superescalar *dual-issue* de execução em ordem, isto implica que o processador seleciona as instruções a serem processadas de forma dinâmica, a fim de maximizar o desempenho, mas sem alterar a ordem na qual as instruções são executadas (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011; JOHN; RUBIO, 2018).

O *pipeline* principal do processador conta com 13 estágios, que são divididos em três classes: buscar (*FETCH*), decodificar (*DECODE*), e executar (*EXECUTE*). Dois estágios são usados para busca e são responsáveis por buscar instruções na memória e as armazenar em um *buffer*, que será, posteriormente, consumido nos estágios de decodificação. Cinco estágios são usados para decodificação, que além de decodificar as instruções, são responsáveis pela seu escalonamento e emissão. Por fim, seis estágios são responsáveis pela execução, que é dividida em dois *pipelines* de unidade lógica aritmética (*Arithmetic logic unit*, ALU), um para armazenamento e outro para multiplicação (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011; JOHN; RUBIO, 2018).

Cabe ressaltar que o processador conta com recursos adicionais de *pipeline* além do *pipeline* principal já mencionado. O mecanismo de execução NEON SIMD utiliza um *pipeline* de 10 estágios, o sistema de memória de nível 2 utiliza um *pipeline* de 8 estágios e o sistema de rastreamento e depuração utiliza um *pipeline* de 13 estágios (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011; JOHN; RUBIO, 2018).

O processador AM335X também inclui mecanismo de predição de fluxo (*branch prediction*), que é uma técnica utilizada para prever os próximos ramos ou estados a serem alcançados

durante a execução de uma estrutura condicional. Nas primeiras execuções das instruções, o preditor de fluxo (*branch predictor*) não possui muitas informações, mas, à medida que as condições ocorrem com maior frequência, mais precisa se torna a suposição feita. Se a suposição estiver correta, a velocidade de execução aumenta significativamente, uma vez que as informações necessárias para o próximo estágio de execução já foram previamente processadas, reduzindo ciclos de *clock* necessários para sua conclusão e evitando liberações (*flushes*) do *pipeline* (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011; JOHN; RUBIO, 2018).

Apesar das memórias *cache* e *buffers* presentes no processador apresentarem enormes vantagens em face do desempenho do sistema como um todo, em sistemas de tempo real sua presença pode ser um problema, uma vez que inserem variabilidade temporal e, portanto, tornam mais difícil analisar o tempo de execução de pior caso do programa (ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

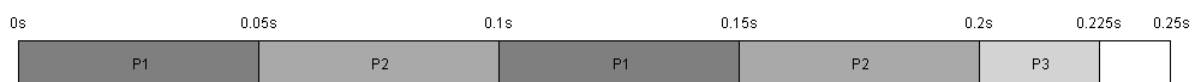
3.3 RECURSOS DE SOFTWARE

O principal recurso de *software* utilizado foi o ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment, IDE*) suportado pela interface da BeagleBone, *Code Composer Studio*, que é fornecido gratuitamente pela Texas Instruments. Já para realizar a amostragem de dados via comunicação por porta serial, também foi necessário utilizar um *software* específico para tal finalidade, optando-se pelo *software Putty*. Quanto à parte estatística do trabalho, *scripts* na linguagem R foram criados, fazendo uso da IDE RStudio.

3.4 COLETA DE MEDIÇÕES

O SO adotado foi configurado para o escalonamento de três partições. A Figura 7 ilustra o escalonamento temporal das partições do RTOS:

Figura 7 – Escala temporal das partições do RTOS



Fonte – (ARCARO, 2015)

Testes foram feitos com a inserção de *Benchmarks* na primeira e na segunda partição. Os *Benchmarks* implementados foram o *fibcall*, o *bsort* e o *lms* do projeto Mälardalen (GUSTAFSSON *et al.*, 2010) e o *dijkstra* do projeto TACLeBench (FALK *et al.*, 2016). No caso do algoritmo *fibcall*, foi utilizada a entrada fixa sugerida na documentação. No caso do algoritmo *dijkstra*, a matriz adjunta sugerida na documentação foi utilizada como parâmetro para gerar uma matriz de menor dimensão para ser adotada como entrada fixa. Já quando do uso

do algoritmo *bsort*, optou-se pelo uso de um vetor de números inteiros com ordenação reversa, pois é sabido que leva a um caminho longo de execução em relação ao número de instruções executadas (ARCARO, 2019). Em se tratando do algoritmo *lms*, o sinal de entrada utilizado é gerado pelo próprio algoritmo e não foi alterado.

A implementação dos *Benchmarks* foi feita de forma a evitar a ocorrência de erros e interferência entre partições no caso de uso do mesmo *benchmark* em diferentes partições. Para tanto, implementou-se funções duplicadas com identificação e variáveis diferentes, por exemplo, quando do uso do algoritmo *bsort* em duas partições, teríamos a função *bsort1* e a função *bsort2*, utilizadas em partições distintas.

O programa de medição temporal já presente no RTOS (ARCARO, 2015) foi usado juntamente com comunicação via porta serial para realizar a amostragem dos tempos de execução de *Benchmarks* adotados. Esse programa é executado na partição padrão do módulo, dessa forma, para que a medição funcione, é preciso que exista uma janela de tempo ocioso na escala das partições, que, no caso, localiza-se na janela [0.225s, 0.25s] (Figura 7).

Dois modos de coleta de medições foram adotados nos experimentos, referenciados neste trabalho como (A) Modo Contido na Partição e (B) Modo Contínuo.

A Figura 8 ilustra um exemplo de trecho de código usado para coleta de medição temporal no denominado modo contido na partição. Antes do início da medição, todas as condições de inicialização do *benchmark* adotado são carregadas por meio do método `ALGORITHM_INITIALIZE`. A medição é feita utilizando um *timer*, que é habilitado pelo método `MEASURE_START`. O algoritmo do *benchmark* adotado é, em seguida, executado, através do método `ALGORITHM_EXECUTE`. O método `MEASURE_STOP`, por sua vez, finaliza a medição. Enfim, o método `MEASURE_READ` é usado para ler o valor medido e esse valor é enviado ao console via porta serial. Um arquivo texto armazena todos os dados medidos e enviados ao console durante a execução dos testes.

Figura 8 – Exemplo de código para coleta de medição temporal: Modo Contido na Partição

```
// Measures task
ALGORITHM_INITIALIZE();
if (CORE_MODULE_INFORMATION[0].MAJOR_FRAME_TIME == 0 * 1000000) {
    MEASURE_START(_CORE_CURRENT_CONTEXT->IDENTIFIER);
    ALGORITHM_EXECUTE();
    MEASURE_STOP();
    ConsoleUtilsPrintf("%d\n", MEASURE_READ());
}
```

Fonte – Do autor.

No exemplo mostrado (Figura 8), a medição temporal e a execução do algoritmo se dão apenas dentro da janela de tempo da própria partição, o que é garantido pela condição de ocorrência do instante `MAJOR_FRAME_TIME`. Como o valor adotado no exemplo é nulo,

os métodos são executados a partir do momento em que a Partição 1 é inicializada na escala temporal (Figura 7), dessa forma, se assegurado que o tempo de execução da tarefa é inferior ao alocado para a primeira ocorrência da Partição 1, a execução da tarefa estará contida dentro da partição em questão sem ser afetada por preempções de outras partições.

O Modo Contínuo de medição é exemplificado na Figura 9. De maneira análoga, os mesmos métodos aplicados no modo anterior são utilizados, a única diferença está na condição de ocorrência do instante MAJOR_FRAME_TIME, que não é mais definida por condição de igualdade, mas atribuída a qualquer instante maior ou igual ao instante referente ao início da partição. Dessa forma, a partir do momento em que a condição é satisfeita, a execução do algoritmo e dos métodos atrelados à medição ocorrem de forma contínua, em *loop*, dentro de qualquer ocorrência da Partição 1 na escala temporal (Figura 7), podendo a execução da tarefa ser afetada ou não por preempções de outras partições.

Figura 9 – Exemplo de código para coleta de medição temporal: Modo Contínuo

```
// Measures task
ALGORITHM_INITIALIZE();
if (CORE_MODULE_INFORMATION[0].MAJOR_FRAME_TIME >= 0 * 1000000) {
    MEASURE_START(_CORE_CURRENT_CONTEXT->IDENTIFIER);
    ALGORITHM_EXECUTE();
    MEASURE_STOP();
    ConsoleUtilsPrintf("%d\n", MEASURE_READ());
}
```

Fonte – Do autor.

Outro fator considerado nas medições é a habilitação ou não de recursos de supressão temporal presentes no SO adotado, são eles: MEASURE_SUPPRESSTICK e MEASURE_SUPPRESSOTHERCONTEXTS. No primeiro caso, o contador não contabiliza o tempo gasto com a interrupção do *Tick* do SO, interrompendo a contagem e continuando após sua ocorrência e retomada da execução. Já no segundo caso, não é contabilizado o tempo decorrido quando há ocorrência de preempção de outra partição, a contagem é interrompida e só é continuada quando o contexto de execução da tarefa medida é retomado. Em suma, os mecanismos de supressão supracitados são úteis quando se pretende medir o tempo de execução de fato e não o tempo de resposta, que é o caso neste trabalho. Ao longo dos testes efetuados, foram usados os mecanismos de supressão habilitados e desabilitados para inicialmente observar o seu possível impacto nas medições e definir qual a melhor configuração a ser adotada posteriormente nos demais cenários de teste.

Um *script* na linguagem R realiza a análise estatística da amostra (Apêndice A), criando um histograma dos tempos medidos, fazendo testes que verificam a adequação da amostra à técnica escolhida e gerando a curva GEV, por meio do método Máximos de Blocos (CAZORLA *et al.*, 2019). Isso é possível graças a diversas bibliotecas disponíveis na linguagem usada, mas

em especial à biblioteca extRemes (GILLELAND, 2020), que é dedicada à TVE.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentadas as principais características da especificação ARINC 653, adotada neste trabalho como um sistema representativo de sistemas de tempo real crítico. Também foram apresentados recursos e características relevantes acerca da plataforma de *hardware* BeagleBone. Acerca da maneira a ser feita a coleta de amostras, foram detalhados os recursos de *software* adotados e a metodologia de amostragem através de um exemplo de aplicação.

É possível notar que o processador da plataforma adotada possui recursos que inserem variabilidade temporal em sua utilização, tais como *pipeline* superescalar, *branch prediction* e memória *cache*. Como já abordado na Seção 3.1, esse não é um comportamento desejável para aplicações com a especificação ARINC 653, uma vez que se almeja o isolamento temporal e de faltas, sendo essas premissas indispensáveis em um cenário de determinismo temporal (ARINC, 2006; ARM, 2014; TEXAS INSTRUMENTS, 2011). Todavia, é objetivo deste trabalho analisar a viabilidade da aplicação da MBPTA no contexto de arquiteturas modernas de *hardware*, sendo, portanto, a plataforma escolhida adequada para tais fins.

4 CENÁRIOS DE TESTE

Nas próximas seções serão apresentados uma aplicação exemplo para demonstrar o comportamento temporal do SO e casos de teste que evidenciam efeitos de interferência temporal a que o *hardware* adotado está suscetível. Por fim, também é apresentada a configuração de teste a ser adotada para realizar a amostragem dos tempos de execução, no intuito de se obter uma amostra para a subsequente análise de viabilidade da aplicação da técnica MBPTA.

4.1 COMPORTAMENTO TEMPORAL DO SISTEMA OPERACIONAL

Para demonstrar o comportamento temporal do SO, foi utilizado o algoritmo *fibcall* executando na Partição 1. As demais partições permaneceram sem qualquer tarefa, executando portanto um laço de espera permanente. O algoritmo *fibcall* foi escolhido para demonstração por ser um algoritmo simples que realiza o cálculo iterativo dos elementos da série de Fibonacci, sendo esse de caminho único e com apenas um laço em sua execução.

O procedimento de medição do tempo de resposta do *benchmark* foi feito de maneira semelhante ao já mostrado na Seção 3.4, com os recursos de supressão temporal desabilitados e de acordo com o Modo Contínuo, isto é, não se fixou a coleta sob a condição de ocorrência de um instante dentro do *major frame*, sendo o algoritmo executado repetidamente durante as janelas de tempo alocadas para a Partição 1. Foram coletadas 50000 medições de forma contínua.

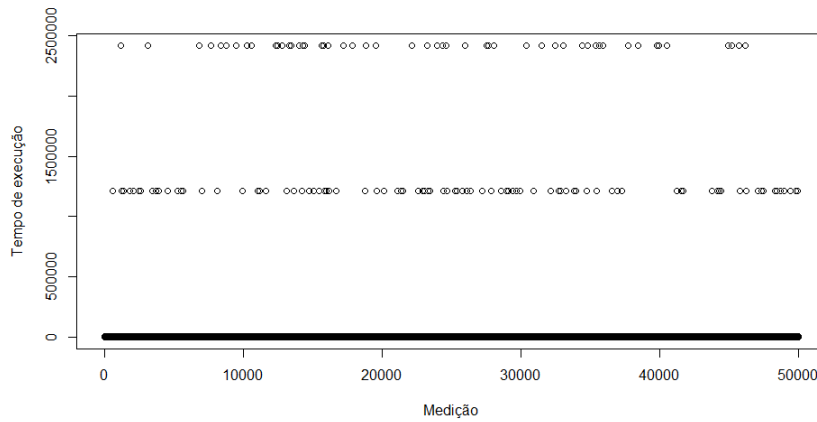
A Figura 10 mostra a plotagem dos 50000 valores obtidos, em ciclos de *clock*, ao longo da coleta. É possível notar a presença de 3 blocos distintos de valores no eixo Y. Temos uma distância de aproximadamente 1.200.000 ciclos de *clock* entre o bloco inferior e o bloco central, e uma distância de aproximadamente 2.400.000 ciclos de *clock* entre o bloco de inferior e o bloco superior. Levando em conta a informação contida na Seção 3.2 acerca da frequência do núcleo do processador, essas distâncias correspondem, respectivamente, a 0,05s e 0,1s.

Assim, ao se observar o calendário das partições (Seção 3.4), podemos compreender que:

1. No bloco inferior, temos o tempo de resposta "típico" da tarefa quando ela não é preemp-tada para a execução de outras partições;
2. No bloco central, temos execuções que são atrasadas pela Partição 2;
3. No bloco superior, temos execuções que são atrasadas pelas Partições 2 e 3 e pela partição padrão do módulo.

Observando em maior detalhe os tempos de resposta para cada bloco, a Figura 11 apresenta a plotagem da amostra e o histograma referentes apenas ao bloco inferior. É possível notar a presença de dois blocos em que a densidade das observações se concentram: entre 3163 a 3203 ciclos (Figura 12) e 4844 a 4989 ciclos (Figura 13). Como o algoritmo adotado possui entrada fixa e caminho único de execução, descarta-se qualquer possibilidade de atraso por

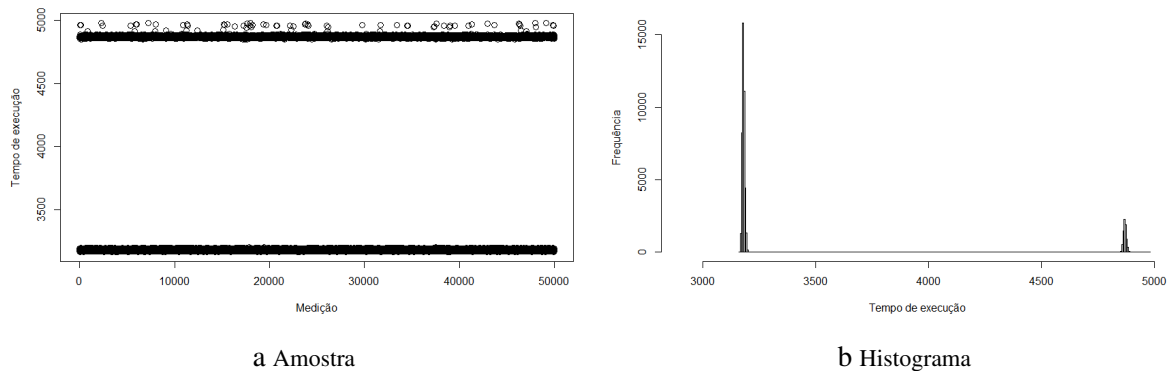
Figura 10 – Amostra 50000 valores



Fonte – Do Autor.

motivo intrínseco à execução do *benchmark*. Alguma interferência do próprio *hardware* ou do sistema de escalonamento do SO pode ter ocasionado essa dispersão dos tempos de execução.

Figura 11 – Faixa 1: Bloco inferior



a Amostra

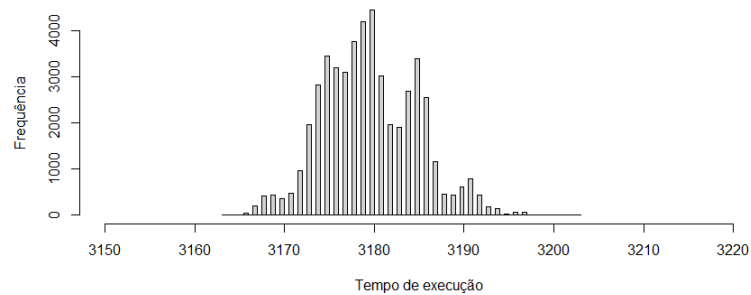
b Histograma

Fonte – Do Autor.

De maneira análoga, os histogramas dos blocos do meio (Figura 14) e superior (Figura 15) ilustram blocos de observações espaçados, indicando possível ocorrência de interferências que ocasionem pequenos atrasos na execução da tarefa. Não faz parte do escopo do trabalho precisar com exatidão qual a origem da interferência, porém, dada a complexidade do *hardware* adotado, cabe citar que existem diversos efeitos subjacentes e oriundos da própria plataforma adotada, tais como o emprego da memória *cache*, os estágios do *pipeline*, o próprio barramento de memória (KOTABA *et al.*, 2013). Já no que tange aos efeitos de origem de *software*, uma possível causa seria a ocorrência do *Tick* do SO, o evento usado para escalonamento das tarefas, que verifica a necessidade de se realizar trocas de contexto e pode causar pequenos atrasos

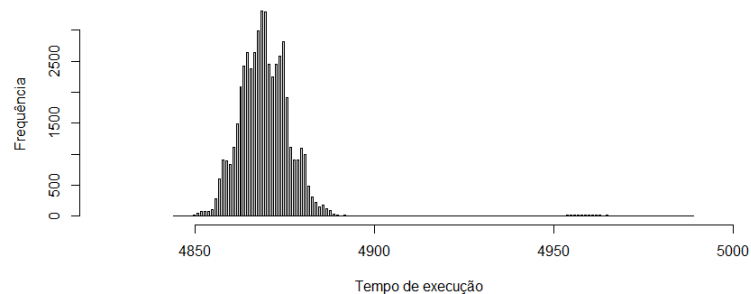
(ARCARO, 2015).

Figura 12 – Histograma da Subfaixa 1_1: Bloco inferior



Fonte – Do Autor.

Figura 13 – Histograma da Subfaixa 1_2: Bloco inferior

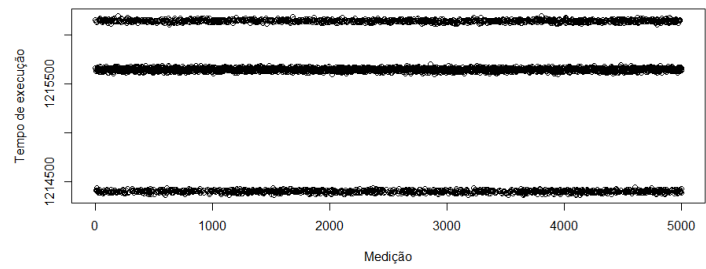


Fonte – Do Autor.

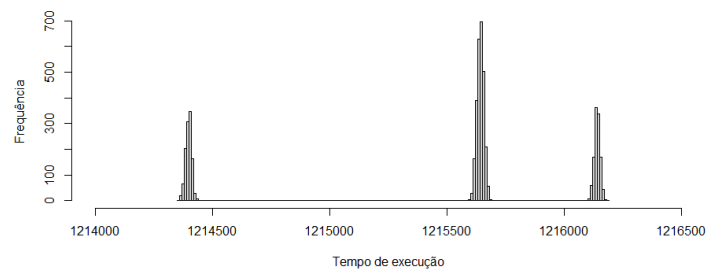
Pode-se inferir, portanto, que o tempo de resposta típico da tarefa está na faixa entre 3163 a 3203 ciclos, havendo ocorrência de interferências implícitas que ocasionam tempos aumentados em relação ao valor típico. Já os blocos espaçados em intervalos maiores e que estão representados em faixas na Figura 10 denotam a ocorrência de preempção de outras partições, isto é, tempos de resposta com interferência explícita. Sendo assim, os dados amostrados são consistentes com o particionamento temporal do SO (Figura 7).

Uma vez comprovado que a amostragem está condizente com o modelo proposto, a seguir serão apresentados casos de teste escolhidos para demonstrar diversos efeitos que causam interferência temporal na aplicação.

Figura 14 – Faixa 2: Bloco do meio



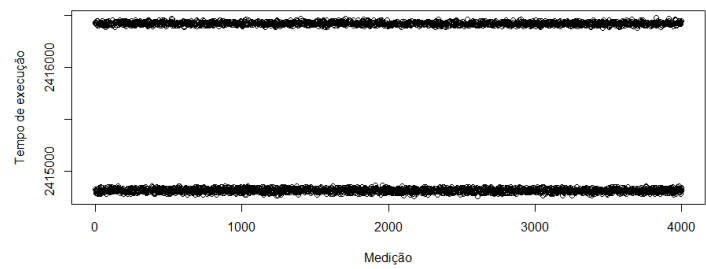
a Amostra



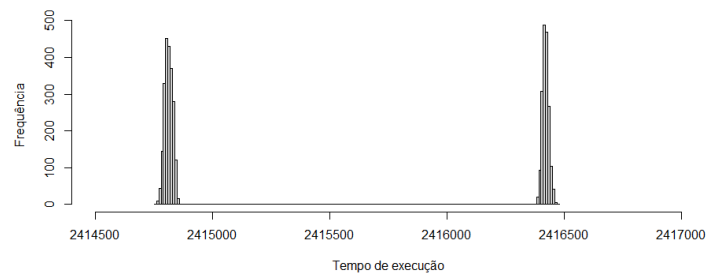
b Histograma

Fonte – Do Autor.

Figura 15 – Faixa 3: Bloco superior



a Amostra



b Histograma

Fonte – Do Autor.

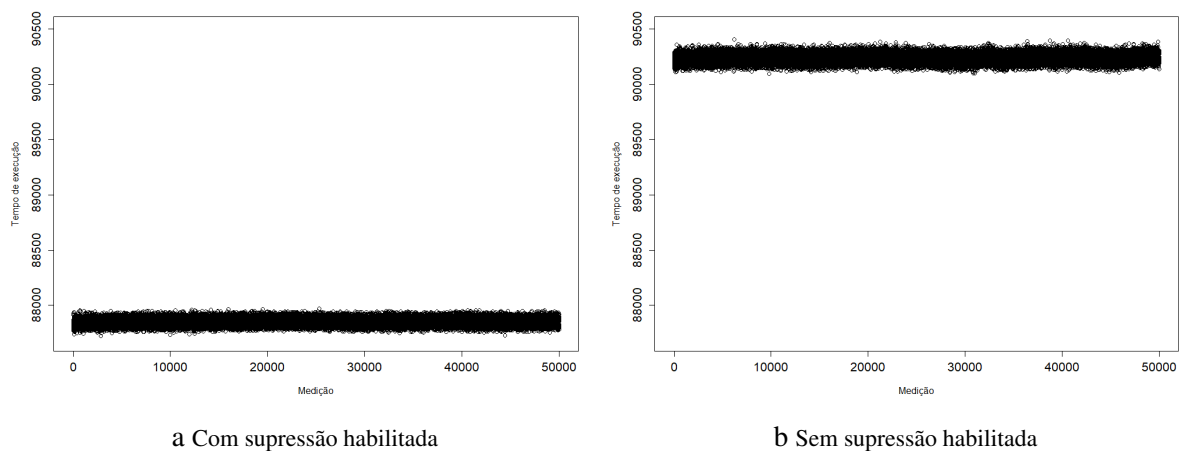
4.2 CASO 1: TAREFA DE INTERESSE

No primeiro caso de teste, foi escolhido o algoritmo *Bsort* do projeto Mälardalen (GUSTAFSSON *et al.*, 2010) como tarefa de interesse a ser medida. O algoritmo *Bsort* é um algoritmo de ordenação, conhecido por *bubblesort*, que atua comparando elementos adjacentes e realizando trocas se estiverem na ordem errada. Este é um algoritmo mais complexo do que o utilizado no cenário de demonstração do comportamento temporal (Seção 4.1) e seu código possui laços aninhados.

Para efeito de teste, o algoritmo foi inserido na Partição 1, enquanto as demais partições permaneceram sem qualquer tarefa executando. Foi utilizado como entrada um vetor de números inteiros com ordenação reversa de tamanho 25. No intuito de se observar o efeito do uso dos recursos de supressão temporal presentes no SO (Seção 3.4), a medição foi feita tanto sem as supressões habilitadas como com as supressões habilitadas, utilizando o Modo Contido na Partição (Seção 3.4), isto é, os tempos de execução amostrados estão contidos apenas na primeira ocorrência da Partição 1 no calendário a cada *major frame*.

As Figuras 16 e 17 apresentam os valores e os histogramas das amostras, respectivamente. É possível notar que, quando os recursos de supressão estão desabilitados, o tempo de execução típico da tarefa varia entre 90094 e 90407, apresentando uma média de 90238,24, desvio padrão de 37,928 e coeficiente de variação de 0,042%. Já quando os recursos de supressão estão habilitados, o tempo de execução típico da tarefa varia entre 87724 e 87972, apresentando uma média de 87849,38, desvio padrão de 30,206 e coeficiente de variação de 0,034%. Sendo assim, a habilitação da supressão temporal na medição provocou redução em média de aproximadamente 2389 ciclos de *clock* no tempo de execução da tarefa.

Figura 16 – Amostra de 50000 valores: Comparação do Caso 1 com e sem supressão

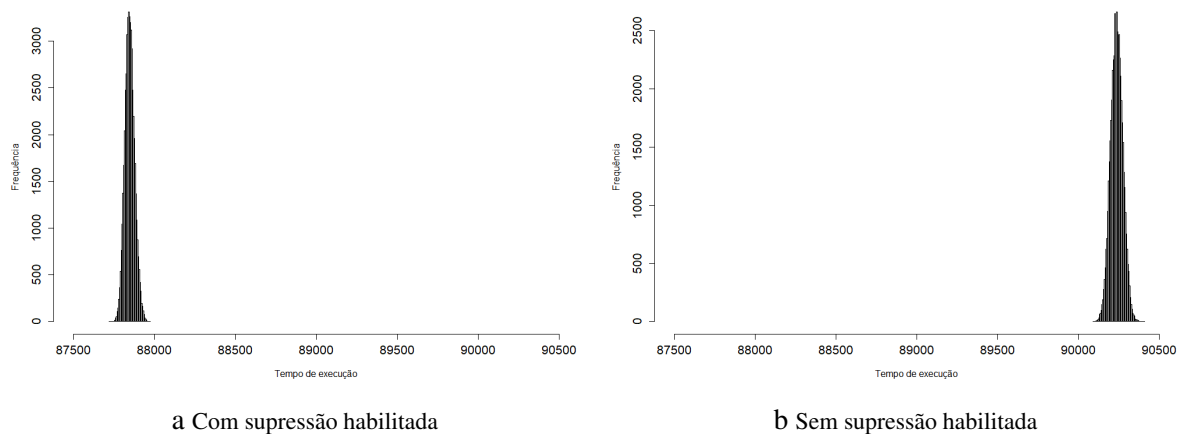


Fonte – Do Autor.

Como o tempo de execução é muito inferior ao tempo alocado para a primeira ocorrência da Partição 1 no calendário do *major frame* e o modo de medição adotado foi o modo

contido na partição, não há que se falar sobre trocas de contexto oriundas de preempção de outras partições. Dessa maneira, a ocorrência da redução do tempo de execução medido está diretamente relacionada à interrupção de *Tick* do SO, o evento usado para escalonamento das tarefas, que verifica a necessidade de se realizar trocas de contexto e pode causar pequenos atrasos (ARCARO, 2015). Com a habilitação dos recursos de supressão, o tempo gasto com o *Tick* deixa de ser contabilizado.

Figura 17 – Histograma: Comparação do Caso 1 com e sem supressão



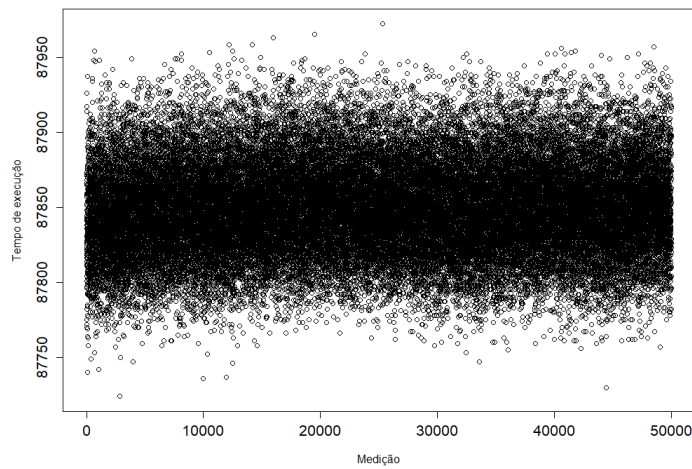
Fonte – Do Autor.

4.3 CASO 2: VARIAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

No segundo caso de teste, foi escolhido novamente o algoritmo *Bsort* do projeto Mälardalen (GUSTAFSSON *et al.*, 2010) como tarefa de interesse a ser medida. Para efeito de teste, o algoritmo foi inserido na Partição 1, enquanto as demais partições permaneceram sem qualquer tarefa executando. Foi utilizado como entrada, inicialmente, um vetor de números inteiros com ordenação reversa de tamanho 25. A medição foi feita com os recursos de supressão habilitados e utilizando o Modo Contido na Partição (Seção 3.4), sendo os tempos de execução amostrados contidos apenas na primeira ocorrência da Partição 1 no calendário a cada *major frame*. Cabe ressaltar que esse caso inicial de teste é idêntico ao Caso 1, utilizando recursos de supressão temporal habilitados.

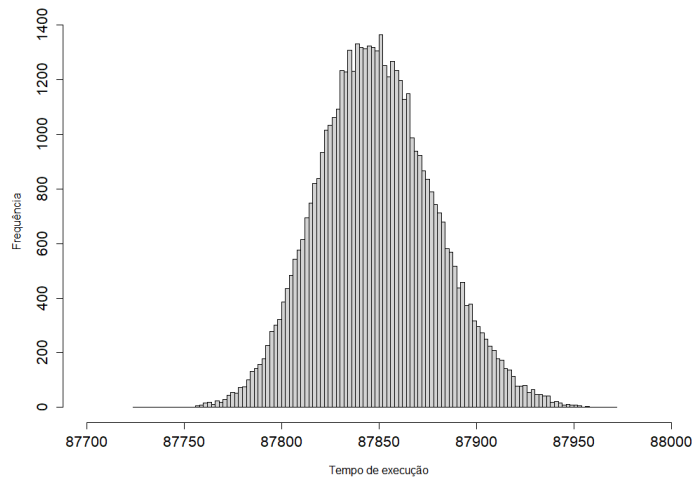
As Figuras 18 e 19 apresentam os valores e o histograma da amostra, respectivamente. É possível notar que o tempo de execução típico da tarefa varia entre 87724 e 87972, apresentando uma média de 87849,38 e desvio padrão de 30,206. Também foram feitos testes com esse mesmo cenário nas outras partições, todavia, não foram observadas diferenças significativas nos resultados obtidos ao se trocar de partição, os valores amostrados foram análogos aos da execução na Partição 1.

Figura 18 – Amostra de 50000 valores: Bsort em P1 (Caso 1)



Fonte – Do Autor.

Figura 19 – Histograma: Bsort em P1 (Caso 1)

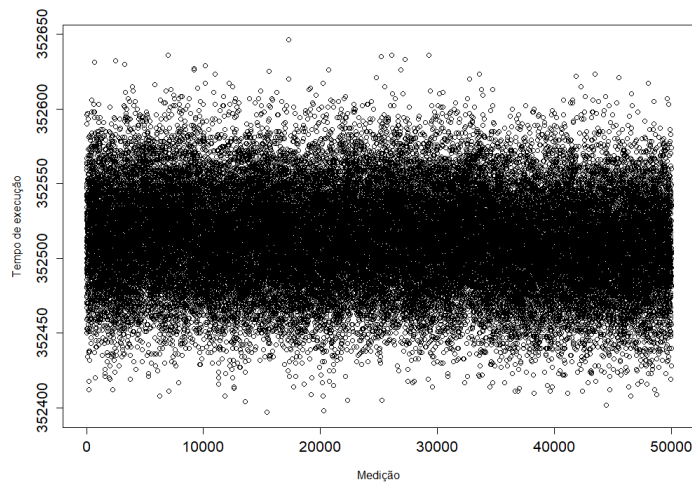


Fonte – Do Autor.

Para observar possíveis efeitos temporais oriundos do *benchmark*, variou-se a entrada adotada, utilizando um vetor maior de números inteiros com ordenação reversa. O tamanho 50 foi escolhido como referência, isto é, o dobro do tamanho utilizado anteriormente. Uma vez que a complexidade do algoritmo *Bsort* é $O(n^2)$, espera-se que ao dobrar o tamanho da entrada, o tempo de execução deva quadruplicar. A medição foi feita com os recursos de supressão habilitados e utilizando o Modo Contido na Partição (Seção 3.4), sendo amostrado um tempo de execução a cada *major frame*, ocorrendo a partir da inicialização da Partição 1 no calendário.

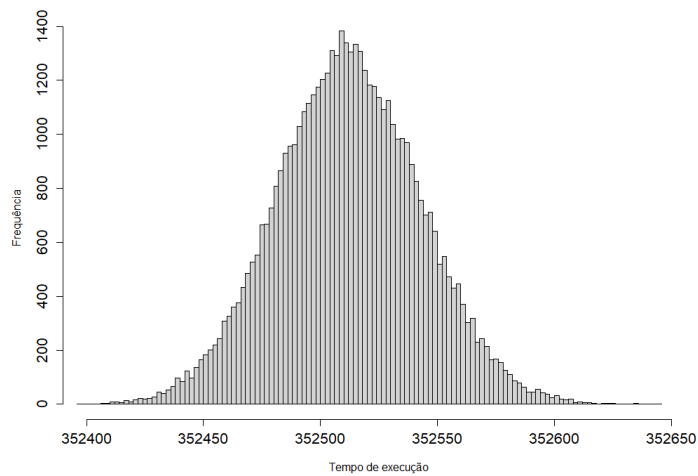
As Figuras 20 e 21 apresentam os valores e o histograma da amostra, respectivamente. É possível notar que há um aumento considerável do tempo de execução da tarefa em relação ao primeiro teste. O tempo de execução típico da tarefa varia entre 352397 e 352646, apresentando uma média de 352512,6 e desvio padrão de 30,801. Sendo assim, os valores amostrados em média são mais de quatro vezes os valores amostrados no primeiro teste, o que condiz com o comportamento esperado para esse experimento.

Figura 20 – Amostra de 50000 valores: Bsort em P1 com vetor de tamanho 50



Fonte – Do Autor.

Figura 21 – Histograma: Bsort em P1 com vetor de tamanho 50



Fonte – Do Autor.

4.4 CASO 3: INTERFERÊNCIA INDIRETA ENTRE PARTIÇÕES

No intuito de avaliar possíveis efeitos de interferência indireta entre partições, foram escolhidos os algoritmos *Bsort* (GUSTAFSSON *et al.*, 2010), *Dijkstra* (FALK *et al.*, 2016) e *lms* (GUSTAFSSON *et al.*, 2010). O algoritmo *Dijkstra* é um algoritmo de busca, que visa encontrar o menor caminho entre dois vértices de um grafo, e foi escolhido para o teste por necessitar de memória considerável para a sua execução. Já o algoritmo *lms* é um filtro adaptativo LMS (*Least Mean Squares*), cujo sinal de entrada é uma onda senoidal com ruído branco adicionado, sendo esse escolhido para o teste por possuir muitos cálculos com ponto flutuante.

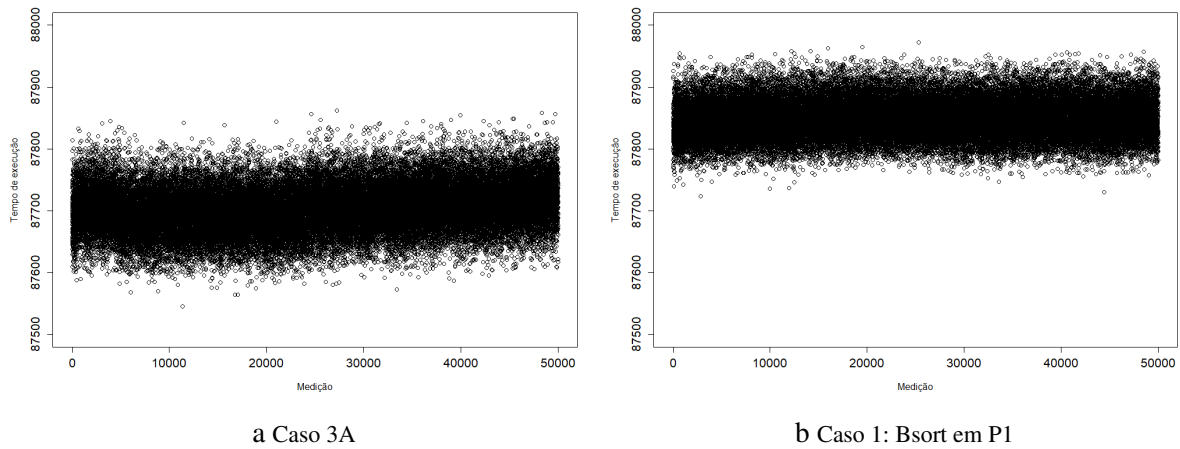
Assim, no primeiro cenário, foi alocado o algoritmo *Bsort* na Partição 1 como tarefa de interesse a ser medida e o algoritmo *Dijkstra* na Partição 2. Para o algoritmo *Bsort*, foi utilizado como entrada um vetor de números inteiros com ordenação reversa de tamanho 25. Já quanto ao algoritmo *Dijkstra*, uma matriz de números inteiros de dimensão 50x50 foi usada como entrada. A medição foi feita com os recursos de supressão habilitados e utilizando o Modo Contido na Partição (Seção 3.4), sendo os tempos de execução de *Bsort* amostrados contidos na primeira ocorrência da Partição 1 no calendário.

As Figuras 22 e 23 apresentam os valores e o histograma da amostra, respectivamente. É possível notar o efeito causado pelo uso do algoritmo *Dijkstra* na Partição 2 sobre a Partição 1. O tempo de execução da tarefa nesse cenário varia entre 87546 e 87862, apresentando uma média de 87704,15 e desvio padrão de 37,829. Comparado com a execução típica da tarefa (Figura 22b), é possível perceber a diminuição do tempo médio de execução da tarefa em aproximadamente 145 ciclos de *clock*. O experimento foi repetido diversas vezes e, em todas elas, o efeito contraintuitivo permaneceu, isto é, a inserção do algoritmo *Dijkstra* na Partição 2, não só não resultou em atrasos na execução da tarefa de interesse, mas também tornou o tempo de execução da tarefa de interesse discretamente mais rápido do que quando estava executando sozinha no *hardware*. A ocorrência desse efeito está possivelmente relacionada a aspectos de arquitetura da plataforma adotada, os quais não foram identificados em detalhe, uma vez que tal investigação foge ao escopo do trabalho.

Utilizando-se do mesmo cenário do teste anterior, adicionou-se o algoritmo *lms* (GUSTAFSSON *et al.*, 2010) na Partição 3 e uma nova amostragem do tempo de execução de *Bsort* na Partição 1 foi realizada com os recursos de supressão habilitados e utilizando o Modo Contido na Partição (Seção 3.4), sendo amostrado um tempo de execução a cada *major frame*, ocorrendo a partir da inicialização da Partição 1 no calendário.

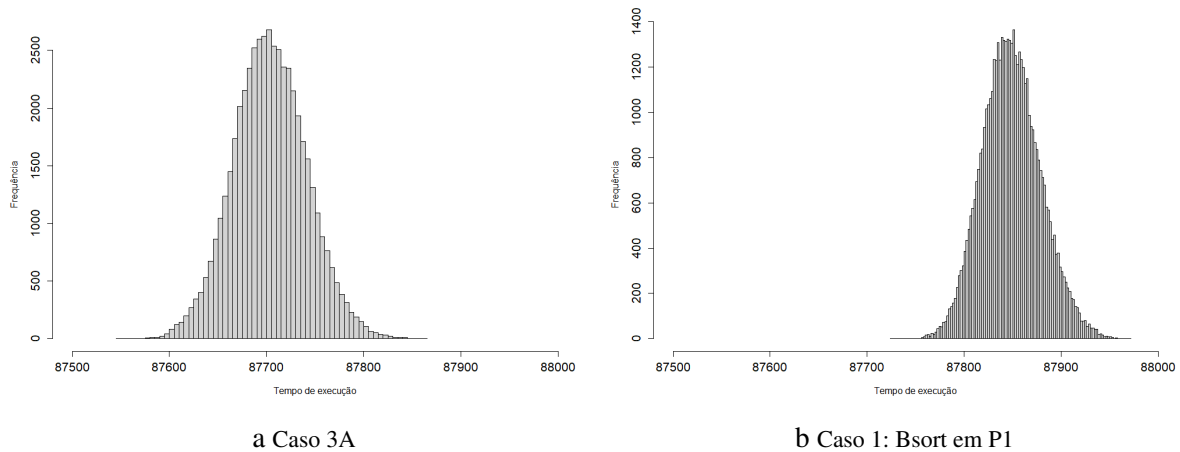
As Figuras 24 e 25 apresentam os valores e o histograma da amostra, respectivamente. É possível notar o efeito causado pelo uso do algoritmo *lms* na Partição 3 sobre a Partição 1. O tempo de execução da tarefa nesse cenário varia entre 88989 e 89164, apresentando uma média de 89071,27 e desvio padrão de 20,349. Comparado com a execução típica da tarefa (Figura 16), é notável o aumento do tempo médio de execução da tarefa em aproximadamente 1222 ciclos de *clock*. De maneira similar ao caso anterior, o experimento foi repetido diversas vezes e, em todas elas, o efeito de perturbação e anomalia permaneceu, isto é, a inserção do

Figura 22 – Amostra de 50000 valores: Comparação do Caso 3A com Caso 1



Fonte – Do Autor.

Figura 23 – Histograma: Comparação do Caso 3A com Caso 1



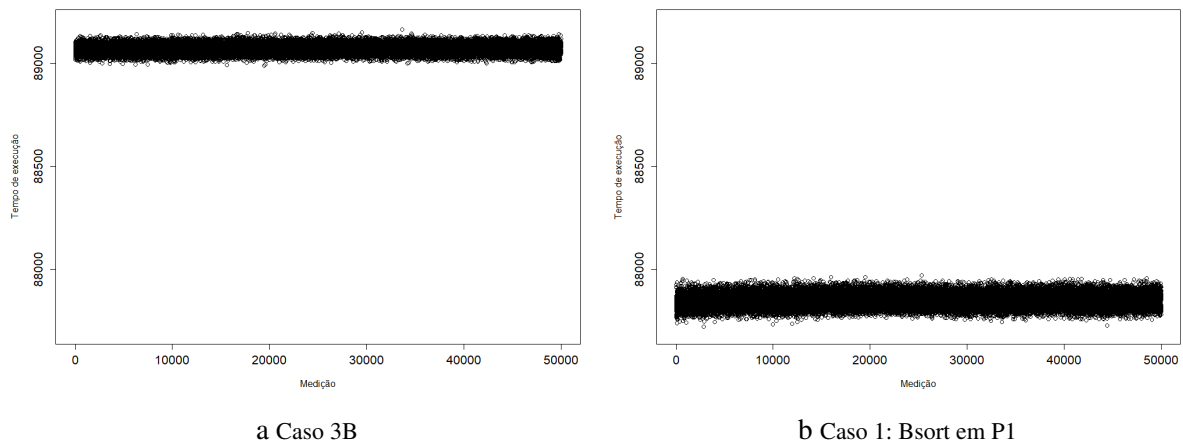
Fonte – Do Autor.

algoritmo lms na Partição 3 resultou em atrasos na execução da tarefa de interesse. A ocorrência desse segundo efeito também está possivelmente relacionada com aspectos de arquitetura da plataforma adotada, os quais não foram investigados em detalhe, uma vez que tal investigação foge do escopo do trabalho.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

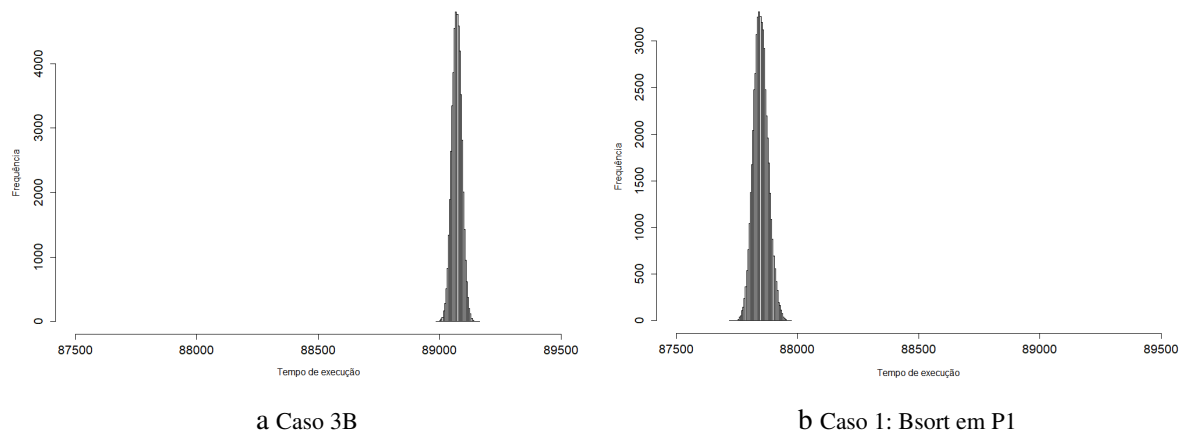
Diante do observado no Capítulo 4, está claro que diversos fatores podem alterar o comportamento temporal da aplicação, desde a variação dos dados de entrada da tarefa a questões intrínsecas ao *hardware* adotado. Não é escopo deste trabalho precisar com exatidão todas as possíveis origens e causas das interferências, uma vez que tal tarefa exigiria aprofundamento em questões de arquitetura e organização de computadores, e também de engenharia eletrônica, em

Figura 24 – Amostra de 50000 valores: Comparação do Caso 3B com Caso 1



Fonte – Do Autor.

Figura 25 – Histograma: Comparação do Caso 3B com Caso 1



Fonte – Do Autor.

função, por exemplo, do possível impacto da variação de temperatura nos componentes eletrônicos. Todavia, cabe salientar que os testes realizados comprovam que o isolamento temporal, que deveria ser estabelecido por meio do particionamento do SO segundo a especificação ARINC 653, não é, por vezes, respeitado em função das características do *hardware* utilizado.

Conclui-se que, no que tange ao uso da plataforma BeagleBone, as medições só são válidas para análise se for utilizada a configuração que de fato será aplicada no campo, uma vez que o que é alocado em uma partição pode afetar o comportamento temporal de uma tarefa em outra partição. Além disso, em função das possíveis variações oriundas do *hardware*, é interessante que sejam realizadas coletas em cenários de longo prazo, isto é, decorrido certo tempo de atividade da plataforma. Sendo assim, compete ao desenvolvedor colocar nas partições o que realmente será utilizado em campo, de forma que a amostra escolhida para a aplicação da

técnica MBPTA seja representativa do cenário real, sob o risco de se obter estimativas demasiado otimistas caso a premissa não seja atendida. Para fins de análise, recomenda-se que sejam usados os dados que são representativos das piores condições que se espera encontrar com o produto final, executando nas condições reais de operação.

5 MEDIÇÕES E ANÁLISES

Para efetuar a análise da aplicação da MBPTA, foi escolhido o Caso 3B, abordado no capítulo 4, isto é, algoritmo *Bsort* alocado na Partição 1, algoritmo *Dijkstra* na Partição 2 e algoritmo *lms* na Partição 3. As amostragens, todavia, foram realizadas apenas após decorrer 24h de atividade ininterrupta da plataforma BeagleBone para observar o comportamento do sistema em condições o mais próximas quanto possível do cenário real de execução. A medição, por sua vez, foi feita com os recursos de supressão temporal habilitados e utilizando o Modo Contido na Partição (Seção 3.4), sendo os tempos de execução amostrados contidos na primeira ocorrência da partição, em que se encontra a tarefa de interesse, no calendário.

Dois cenários de testes foram escolhidos, em que se variou a tarefa de interesse cujo tempo de execução foi medido. No primeiro cenário, o algoritmo *Bsort*, alocado na Partição 1, foi escolhido como tarefa de interesse, já no segundo cenário, o algoritmo *lms*, alocado na Partição 3. Para cada tarefa foram coletadas 10 amostras diferentes de 50.000 medições. No intuito de garantir a independência entre as amostras, o código do SO foi recompilado e regravado antes de cada sessão de medições. Ao todo, foram coletadas 500.000 medições para cada tarefa.

O tempo gasto em cada sessão de coleta de 50.000 medições varia em função da tarefa de interesse e do modo adotado para medição. No caso do primeiro cenário, o tempo médio gasto por sessão de coleta foi de aproximadamente 5,5 horas. Já no caso do segundo cenário, o tempo médio gasto por sessão de coleta foi de aproximadamente 7 horas.

Após realizar a amostragem, foi necessário verificar a aplicabilidade da TVE em relação às amostras produzidas, isto é, verificar se as amostras cumprem com os requisitos de apresentar evidências de independência e distribuição idêntica. Para tanto, foram empregados os testes de hipótese estatística descritos no Capítulo 2. Esse tipo de teste utiliza uma hipótese nula, denominada H_0 , e uma hipótese oposta, denominada H_1 . A hipótese H_0 é tida como verdadeira, sendo apenas refutada se surgirem evidências estatísticas apropriadas que corroborem o contrário. Já H_1 é tida como verdadeira apenas se H_0 for refutada. Os resultados desses testes são dados em valores p , que sumarizam a probabilidade dos valores amostrados terem ocorrido no caso de a hipótese nula ser verdadeira (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018, 2017).

Para obter um certo controle sobre a ocorrência de falsos negativos e falsos positivos em relação à hipótese nula, utiliza-se um valor conhecido como nível de significância, denominado α . Geralmente α é definido com valores entre 0,05 e 0,01. Ao comparar o valor p de um teste com α , pode-se rejeitar a hipótese nula ($p < \alpha$) ou não ($p \geq \alpha$), com um nível de confiança dado por $\gamma = 1 - \alpha$ (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018, 2017). Ao longo deste capítulo, empregamos estimativas de pWCET com probabilidade de excedência igual a 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} e 10^{-8} , e também amostras de validação com $n = 50.000$ medições e $\alpha = 0,05$.

Após ter sido verificada a adequação das amostras, foram realizados seis ajustes para cada amostra, através da abordagem Máximos de Blocos com uma distribuição GEV ajustada aos máximos das medidas selecionadas por meio de blocos de tamanho 30, 50 e 100. Embora

haja um debate em andamento sobre qual método usar ao aplicar a TVE, o método e o tamanho da amostra usados neste trabalho são semelhantes a outros trabalhos na literatura. O uso de blocos de tamanho 50 e 100 é comum na literatura (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018, 2017) bem como o uso de tamanhos diversos para efeito comparativo (SANTINELLI *et al.*, 2014; CUCU-GROSJEAN *et al.*, 2012), abordagem essa que optamos por adotar.

Duas análises da aplicação do método foram feitas. Na primeira delas, variou-se o tamanho dos blocos (30, 50 e 100), mas foi mantida fixa a quantidade de blocos utilizada na análise em 500 blocos. Na segunda análise, fixou-se o tamanho do bloco em 100 e a variação se deu na quantidade de blocos utilizados (100, 250 e 500).

Quanto ao método para estimação dos parâmetros de ajuste, cabe ressaltar que não há prevalência de um método sobre outro na literatura, sendo todos os métodos apresentados no Capítulo 2 amplamente usados. Para restringir o escopo, optou-se por usar o método MLE, também empregado em diversos trabalhos (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018, 2017).

5.1 CENÁRIO 1

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos para o algoritmo *Bsort* como tarefa de interesse. Uma vez que o comportamento temporal é semelhante para todas as dez amostras coletadas, por uma questão de simplicidade, apresentamos resultados detalhados apenas para a amostra 1. Todos os resultados das demais amostras podem ser verificados no Apêndice B.

As Figuras 26a e 26b apresentam os valores e o histograma da amostra, respectivamente. O tempo de execução da tarefa nesse cenário varia entre 88993 e 89160, apresentando uma média de 89070 e desvio padrão de 20,39062 (Tabela 1). Para validar a adequação da amostra através dos testes estatísticos supramencionados, a amostra foi dividida em 10 segmentos, cada um com 5000 medições, sobre os quais os testes foram aplicados. Essa divisão em segmentos foi realizada para controlar os erros dos testes de hipótese que foram empregados, uma vez que com a replicação dos testes a probabilidade de ocorrência de resultados falsos é reduzida, aumentando a confiança nos resultados obtidos (ARCARO *et al.*, 2018).

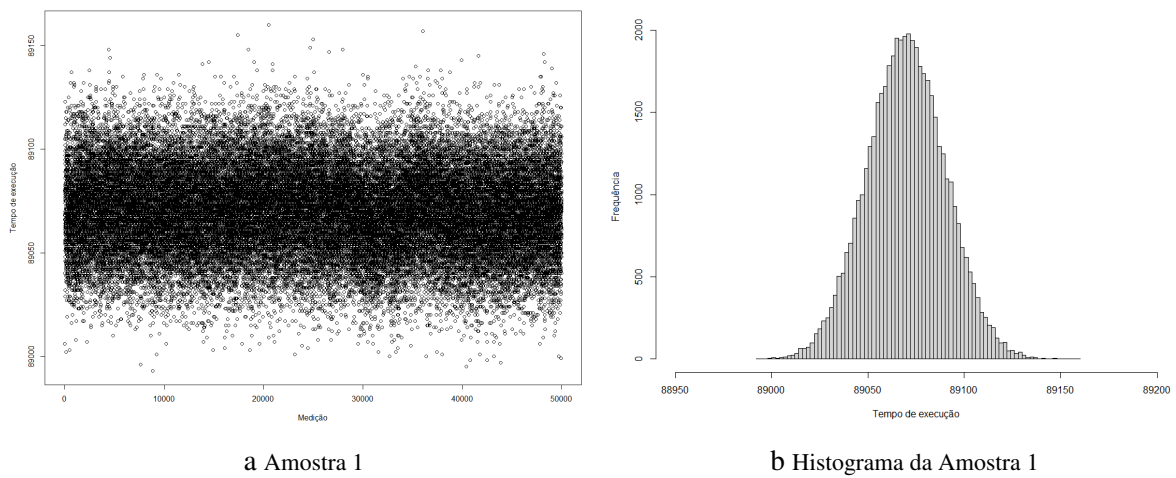
A Figura 26c mostra os gráficos *box and whisker* dos resultados dos testes estatísticos aplicados, ilustrando sobre os valores p obtidos: o mínimo, a mediana, o máximo e os quantis de 5% e 95%. Levando em consideração o fato de que os testes que empregamos são conhecidos por produzir valores p que são uniformemente distribuídos no intervalo $[0, 1]$ quando H_0 é verdadeira (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018, 2017), os valores de p são aceitáveis, pois estão distribuídos no intervalo $[0, 1]$ e não apresentam tendência para valores baixos (<5%).

Tabela 1 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88993 | 89056 | 89070 | 89070 | 89084 | 89160 | 20,39062 | 415,7776 |

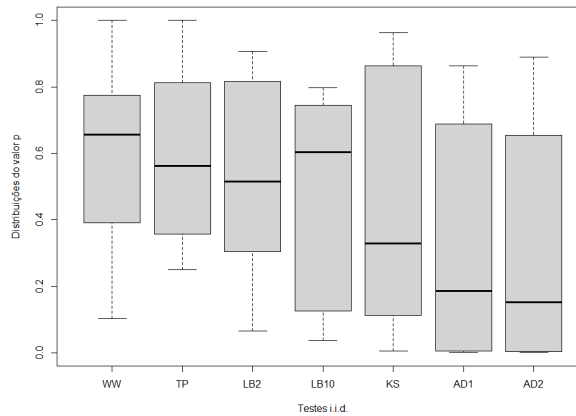
Fonte – Do Autor.

Figura 26 – Amostra 1: Tarefa Bsort



a Amostra 1

b Histograma da Amostra 1



c Testes i.i.d.

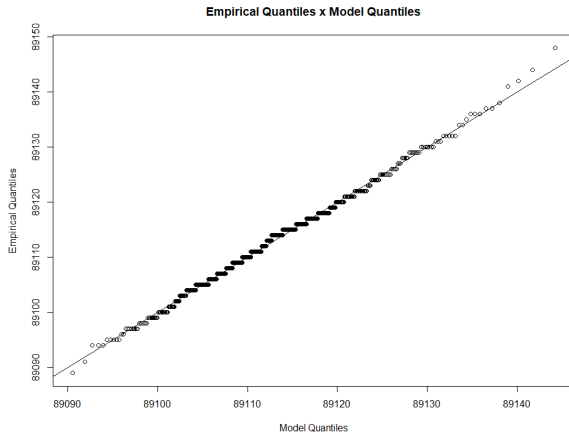
Fonte – Do Autor.

5.1.1 Análise variando o tamanho do bloco

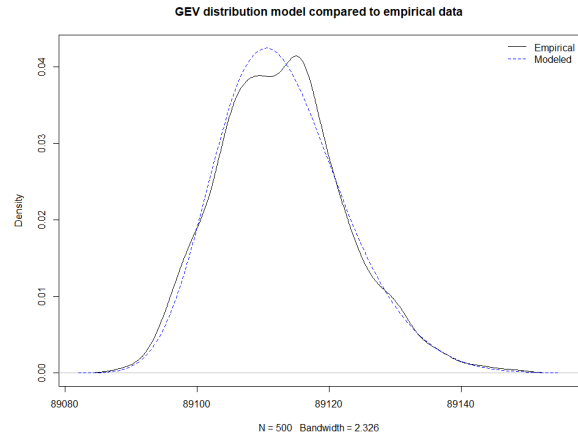
A Figura 27 apresenta os resultados da aplicação do método da TVE, valendo-se da variação do tamanho dos blocos em 30, 50 e 100 e mantendo a quantidade de blocos fixa em 500 blocos. Na área esquerda da Figura 27 (Figuras 27a, 27c e 27e), temos os gráficos Quantil-Quantil, que representam a ordenação dos quantis da amostra em ordem crescente no eixo Y e

dos quantis do modelo gerado no eixo X, os valores dos quantis do modelo são traçados como pontos no gráfico, no qual existe também uma reta 1:1.

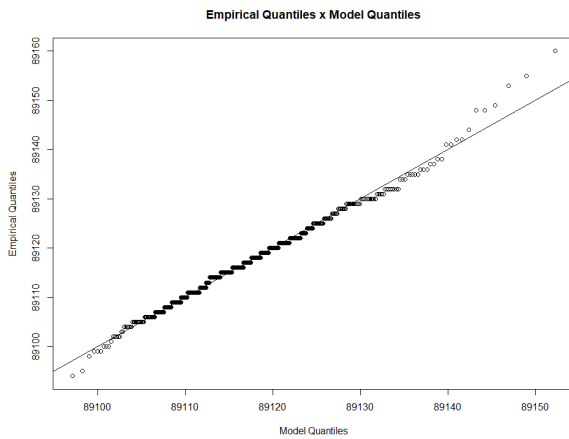
Figura 27 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 1 - Tarefa Bsort



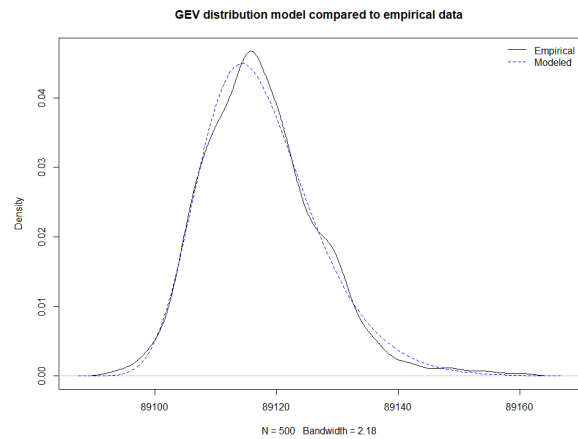
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



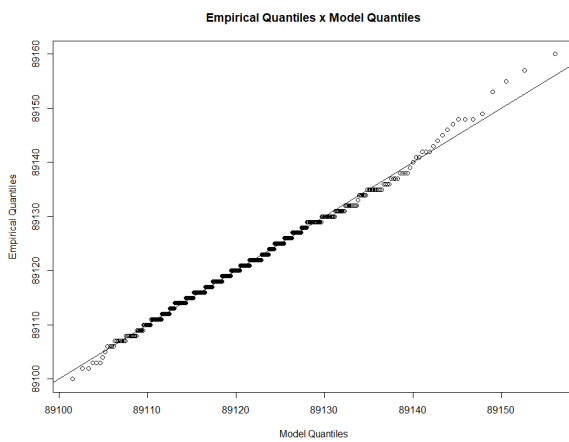
b Curva GEV com bloco 30



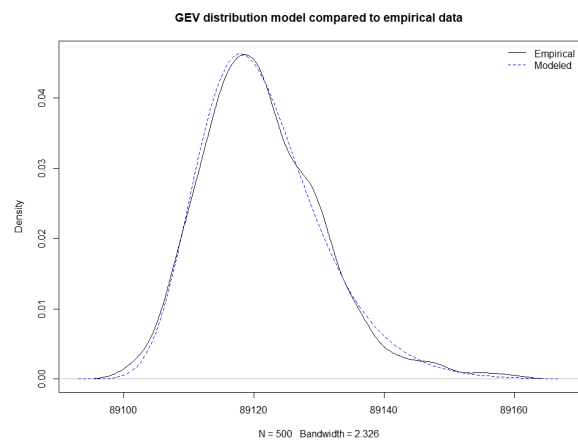
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

O bom ajuste em gráficos Quantil-Quantil se evidencia pela disposição próxima da linha 1:1, demonstrando que os valores do modelo se aproximam dos valores empíricos amostrados (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018, 2017). Já na área direita da Figura 27 (Figuras 27b, 27d e 27f), encontram-se os gráficos da curva de distribuição GEV obtida, em que se compara a curva empírica e a curva modelada, havendo no eixo X os dados da amostra em ordem crescente e no eixo Y a densidade da distribuição. De maneira análoga aos gráficos Quantil-Quantil, o bom ajuste em gráfico da curva de distribuição GEV se dá pela aproximação dos traçados das curvas modeladas às empíricas, em especial, em relação ao ajuste dos traçados da cauda das curvas, uma vez que estamos analisando a probabilidade de ocorrência de valores extremos (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018, 2017).

Em relação aos resultados obtidos e apresentados na Figura 27, é possível observar algumas discrepâncias das curvas modeladas em relação às empíricas e distanciamentos dos valores modelados em relação à reta 1:1. Todavia, apesar dessas ocorrências não serem favoráveis, não há definição na literatura acerca do critério de aceitação em relação aos deslocamentos e, haja vista os resultados frequentemente obtidos em outros trabalhos na literatura, os resultados de todos os testes apresentaram ajustes razoáveis. No caso específico do presente experimento, os resultados obtidos com bloco de tamanho 30 apresentaram ajustes, na cauda da curva GEV e na aproximação dos pontos modelados à reta 1:1, um pouco melhores do que os demais.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros usados para o ajuste da curva GEV no caso do uso de blocos com tamanho 30, 50 e 100, sendo eles local (μ), escala (σ) e forma (ξ).

Tabela 2 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89108,1805 | 89109,0276 | 89109,8747 |
| | σ | 8,1854 | 8,7759 | 9,3664 |
| | ξ | -0,2053 | -0,1532 | -0,1012 |
| 50 | μ | 89112,7036 | 89113,4934 | 89114,2831 |
| | σ | 7,6822 | 8,2293 | 8,7764 |
| | ξ | -0,1416 | -0,0939 | -0,0461 |
| 100 | μ | 89116,4891 | 89117,2611 | 89118,0332 |
| | σ | 7,4375 | 7,9783 | 8,5190 |
| | ξ | -0,1356 | -0,0824 | -0,0293 |

Fonte – Do Autor.

A Tabela 3 apresenta os valores estimados de pWCET com probabilidade de excedência igual a 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} e 10^{-8} no caso do uso de blocos com tamanho 30, 50 e 100.

Tabela 3 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89147,4115 | 89156,4907 | 89165,5699 |
| | 10^{-6} | 89148,5388 | 89159,4087 | 89170,2787 |
| | 10^{-7} | 89149,0860 | 89161,4593 | 89173,8325 |
| | 10^{-8} | 89149,2990 | 89162,9002 | 89176,5015 |
| 50 | 10^{-5} | 89159,1746 | 89171,4149 | 89183,6552 |
| | 10^{-6} | 89161,6360 | 89177,1989 | 89192,7618 |
| | 10^{-7} | 89163,1056 | 89181,8587 | 89200,6118 |
| | 10^{-8} | 89163,8769 | 89185,6129 | 89207,3489 |
| 100 | 10^{-5} | 89162,2937 | 89176,5786 | 89190,8635 |
| | 10^{-6} | 89164,6080 | 89183,0556 | 89201,5032 |
| | 10^{-7} | 89165,8655 | 89188,4128 | 89210,9601 |
| | 10^{-8} | 89166,3632 | 89192,8438 | 89219,3244 |

Fonte – Do Autor.

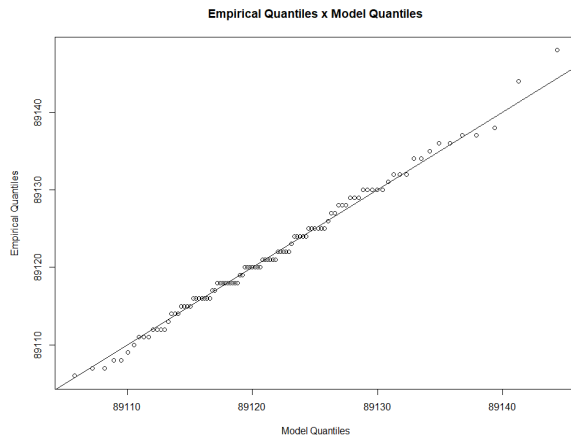
5.1.2 Análise variando a quantidade de blocos

A Figura 28 apresenta os resultados da aplicação do método da TVE, valendo-se da variação da quantidade dos blocos em 100, 250 e 500 e mantendo o tamanho do bloco fixo em 100. Na área esquerda da Figura 28 (Figuras 28a, 28c e 28e), temos os gráficos Quantil-Quantil, que representam a ordenação dos quantis da amostra em ordem crescente no eixo Y e dos quantis do modelo gerado no eixo X, os valores dos quantis do modelo são traçados como pontos no gráfico, no qual existe também uma reta 1:1.

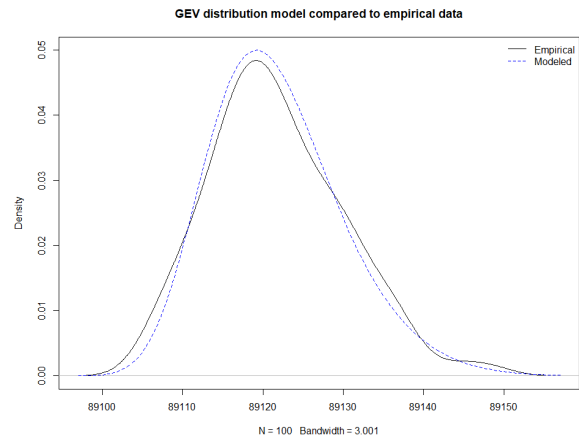
Já na área direita da Figura 28 (Figuras 28b, 28d e 28f), encontram-se os gráficos da curva de distribuição GEV obtida, em que se compara a curva empírica e a curva modelada, havendo no eixo X os dados da amostra em ordem crescente e no eixo Y a densidade da distribuição.

Em relação aos resultados obtidos e apresentados na Figura 28, é possível observar discrepâncias mais significativas do que as observadas na Figura 27. Todavia, os resultados de todos os testes apresentaram ajustes razoáveis. No caso específico do presente experimento, os resultados obtidos com maior quantidade de blocos (Figuras 28e e 28f) apresentaram ajustes, na cauda da curva GEV e na aproximação dos pontos modelados à reta 1:1, melhores do que os demais, possivelmente em face da maior quantidade de valores usados para o ajuste.

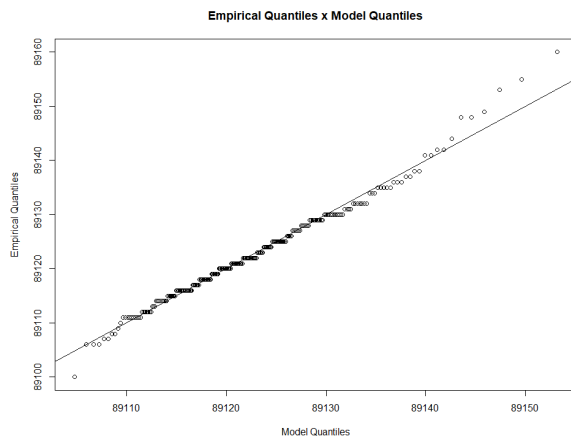
Figura 28 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 1 - Tarefa Bsort



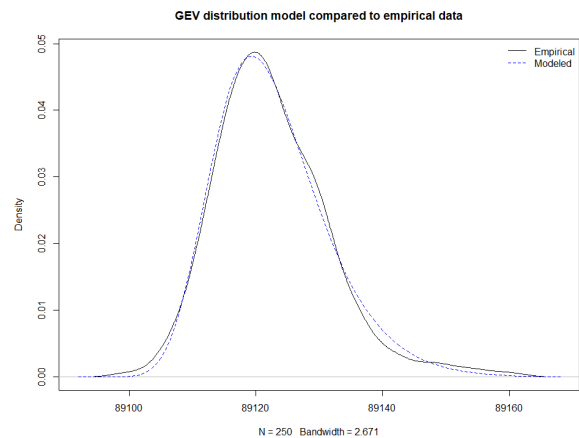
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



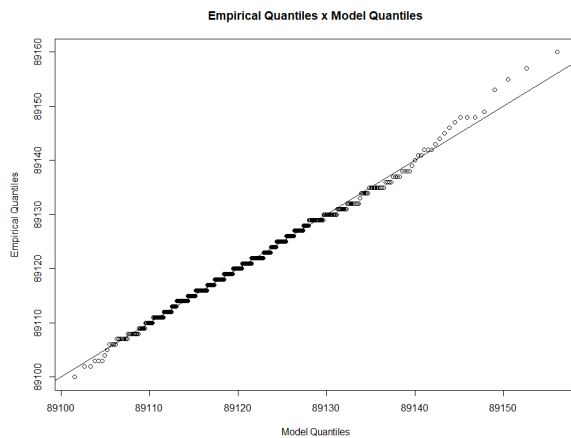
b Curva GEV com 100 blocos



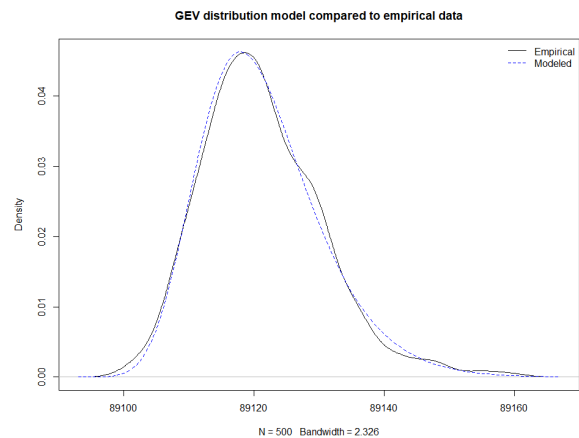
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros usados para o ajuste da curva GEV no caso do uso da quantidade de 100, 250 e 500 blocos, sendo eles local (μ), escala (σ) e forma (ξ).

Tabela 4 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89116,6194 | 89118,2431 | 89119,8667 |
| | σ | 6,2709 | 7,4200 | 8,5691 |
| | ξ | -0,2572 | -0,1230 | 0,0112 |
| 250 | μ | 89117,7521 | 89118,7913 | 89119,8305 |
| | σ | 6,9479 | 7,6645 | 8,3811 |
| | ξ | -0,1457 | -0,0783 | -0,0109 |
| 500 | μ | 89116,4891 | 89117,2611 | 89118,0332 |
| | σ | 7,4375 | 7,9783 | 8,5190 |
| | ξ | -0,1356 | -0,0824 | -0,0293 |

Fonte – Do Autor.

A Tabela 5 apresenta os valores estimados de pWCET com probabilidade de excedência igual a 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} e 10^{-8} no caso do uso da quantidade de 100, 250 e 500 blocos.

Tabela 5 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89139,4028 | 89163,9298 | 89188,4569 |
| | 10^{-6} | 89137,2119 | 89167,5404 | 89197,8689 |
| | 10^{-7} | 89134,7209 | 89170,2604 | 89205,8000 |
| | 10^{-8} | 89132,2123 | 89172,3096 | 89212,4068 |
| 250 | 10^{-5} | 89158,7195 | 89176,9325 | 89195,1454 |
| | 10^{-6} | 89159,9201 | 89183,4869 | 89207,0537 |
| | 10^{-7} | 89160,0716 | 89188,9597 | 89217,8478 |
| | 10^{-8} | 89159,4889 | 89193,5295 | 89227,5701 |
| 500 | 10^{-5} | 89162,2937 | 89176,5786 | 89190,8635 |
| | 10^{-6} | 89164,6080 | 89183,0556 | 89201,5032 |
| | 10^{-7} | 89165,8655 | 89188,4128 | 89210,9601 |
| | 10^{-8} | 89166,3632 | 89192,8438 | 89219,3244 |

Fonte – Do Autor.

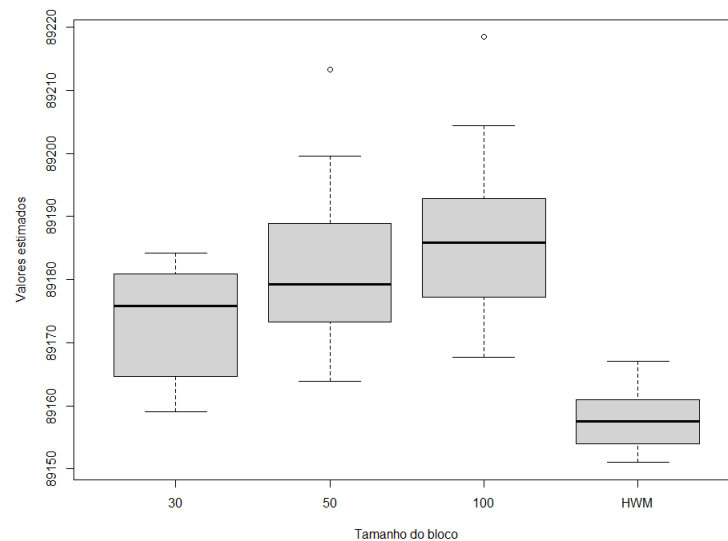
5.1.3 Análise da dispersão das amostras

Para avaliar os resultados obtidos das 10 amostras coletadas (Apêndice B), criou-se gráficos *box and whisker* dos resultados dos pWCETs estimados com probabilidade de excedência igual a 10^{-8} e também dos 10 maiores valores observados (HWM), isto é, o HWM de cada amostra, ilustrando sobre os valores obtidos: o mínimo, a mediana, o máximo e os quantis de 5% e 95%.

A Figura 29 compara os valores estimados por tamanho do bloco com o HWM observado. É possível notar que, sob as condições específicas do presente experimento, a mediana varia com o aumento do tamanho do bloco, muito embora esse não seja de fato um aumento significativo, uma vez que, ao se observar a escala, a diferença dos valores das medianas é de poucas unidades de ciclos de *clock*. As medianas obtidas para cada tamanho de bloco são, respectivamente, 89176, 89179 e 89186, implicando em variações inferiores a 0,012%. Em todos os casos, as medianas e valores máximos obtidos distam dos HWMs observados, sendo escolhas aceitáveis para o pWCET a ser adotado pelo desenvolvedor.

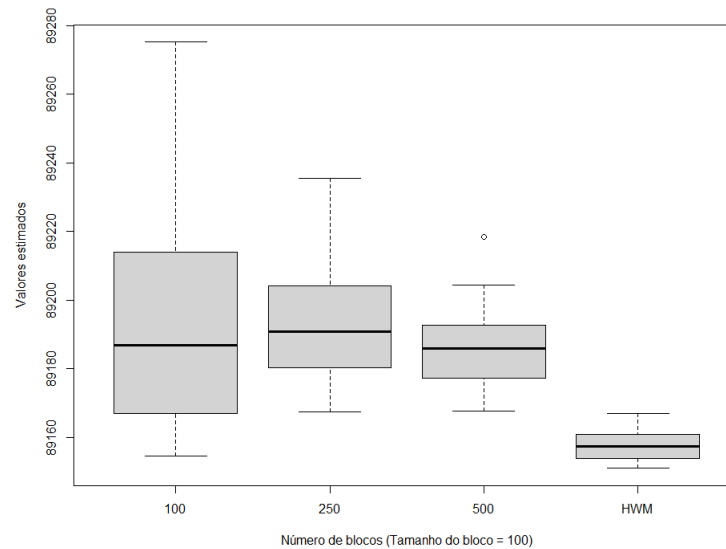
Já a Figura 30, por sua vez, compara os valores estimados por quantidade de blocos com o HWM observado. É possível notar que, sob as condições específicas do presente experimento, a mediana se mantém em valores próximos, não havendo variação significativa com a quantidade de blocos, todavia, a variância dos valores estimados diminuiu à medida que mais blocos foram empregados, possivelmente, isto ocorre devido ao aumento da quantidade de dados usados para a análise. Em todos os casos, as medianas e valores máximos obtidos distam dos HWMs observados, sendo escolhas aceitáveis para o pWCET a ser adotado pelo desenvolvedor.

Figura 29 – Valores estimados por tamanho do bloco com probabilidade de excedência = 10^{-8}



Fonte – Do Autor.

Figura 30 – Valores estimados por quantidade de blocos com probabilidade de excedência = 10^{-8}



Fonte – Do Autor.

5.2 CENÁRIO 2

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos para o algoritmo *lms* como tarefa de interesse. A tarefa *lms* apresentou comportamento em regime semelhante nas 10 amostras, todavia, em 2 amostras foi observada a ocorrência de um *outlier* localizado entre as primeiras 5 execuções da tarefa (Apêndice C - Amostra 2 e Amostra 10). Sendo assim, por uma questão de simplicidade, apresentamos resultados detalhados apenas para as amostras 1 e 10, que apresentam, respectivamente, o comportamento típico em regime e a presença do maior *outlier* observado. Todos os resultados das demais amostras podem ser verificados no Apêndice C.

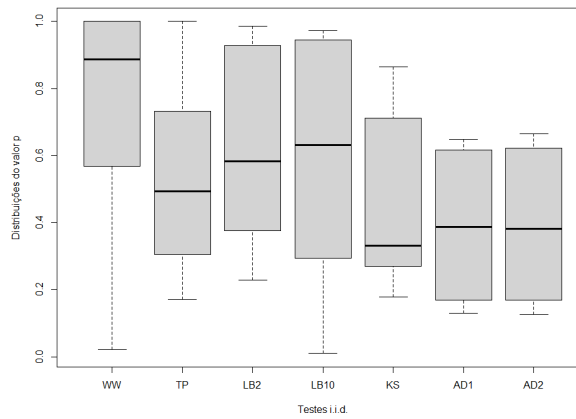
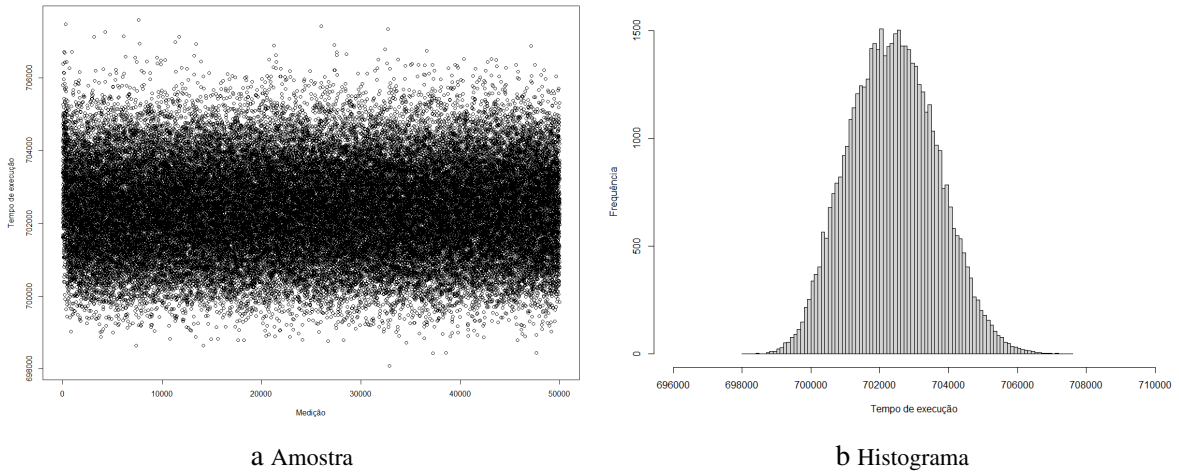
5.2.1 Análise preliminar da Amostra 1

As Figuras 31a e 31b apresentam os valores da amostra 1 e o histograma da amostra respectivamente. O tempo de execução da tarefa neste cenário varia entre 698085 e 707590, apresentando uma média de 702387 e desvio padrão de 1269,557 (Tabela 6). Para validar a adequação da amostra através dos testes estatísticos supramencionados, a amostra foi dividida em 10 segmentos, cada um com 5000 medições, sobre os quais os testes foram aplicados.

A Figura 31c mostra os gráficos *box and whisker* dos resultados dos testes estatísticos aplicados, ilustrando sobre os valores p obtidos: o mínimo, a mediana, o máximo e os quantis de 5% e 95%. Levando em consideração o fato de que os testes que empregamos são conhecidos por produzir valores p que são uniformemente distribuídos no intervalo $[0, 1]$ quando H_0 é

verdadeiro (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018, 2017), os valores de p são aceitáveis, pois estão distribuídos no intervalo [0, 1] e não apresentam tendência para valores baixos (<5%).

Figura 31 – Amostra 1 - Tarefa lms



c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

Tabela 6 – Amostra 1 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698085 | 701469 | 702367 | 702387 | 703268 | 707590 | 1269,557 | 1611776 |

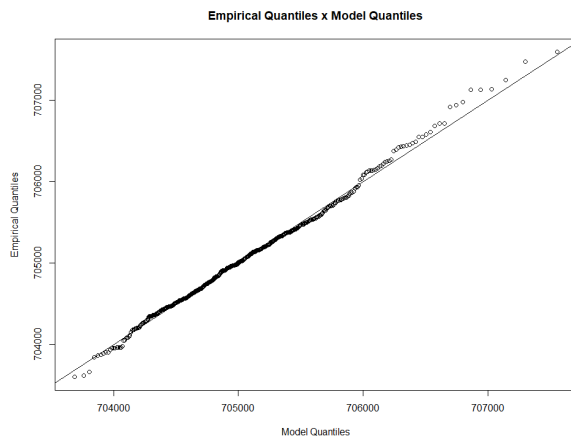
Fonte – Do Autor.

5.2.2 Análise variando o tamanho do bloco (Amostra 1)

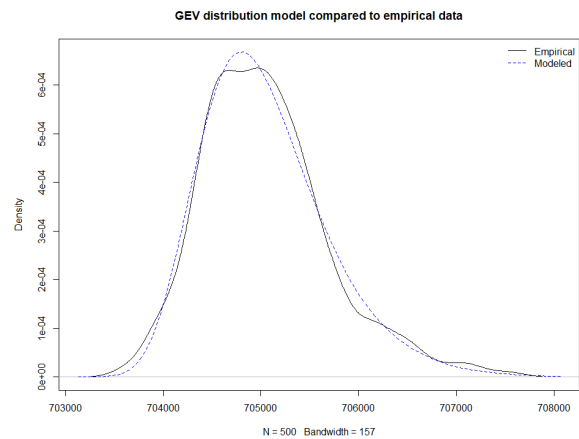
A Figura 32 apresenta os resultados da aplicação do método da TVE, valendo-se da variação do tamanho dos blocos em 30, 50 e 100 e mantendo a quantidade de blocos fixa em 500 blocos. Na área esquerda da Figura 32 (Figuras 32a, 32c e 32e), temos os gráficos Quantil-Quantil, que representam a ordenação dos quantis da amostra em ordem crescente no eixo Y e dos quantis do modelo gerado no eixo X, os valores dos quantis do modelo são traçados como pontos no gráfico, em que existe também uma reta 1:1.

Já na área direita da Figura 32 (Figuras 32b, 32d e 32f), encontram-se os gráficos da curva de distribuição GEV obtida, em que se compara a curva empírica e a curva modelada, havendo no eixo X os dados da amostra em ordem crescente e no eixo Y a densidade da distribuição.

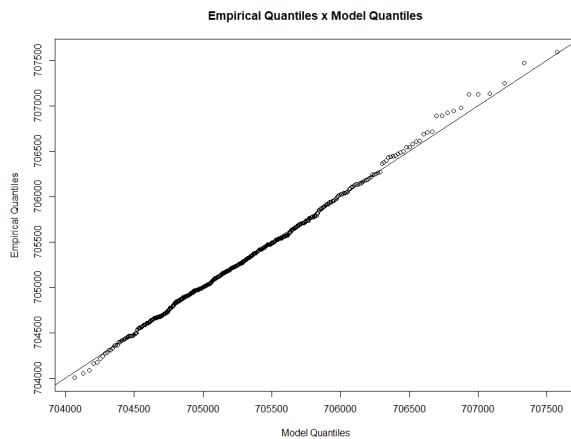
Figura 32 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 1 - Tarefa lms



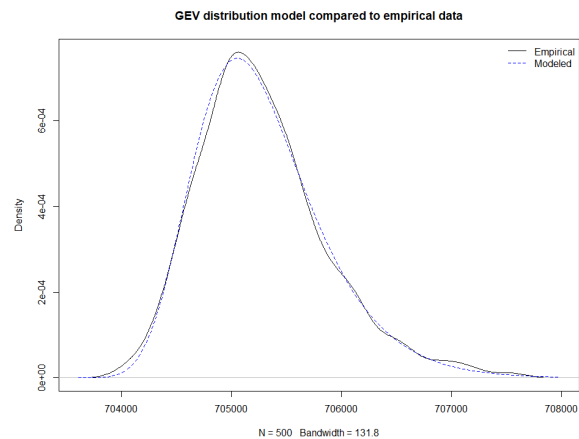
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



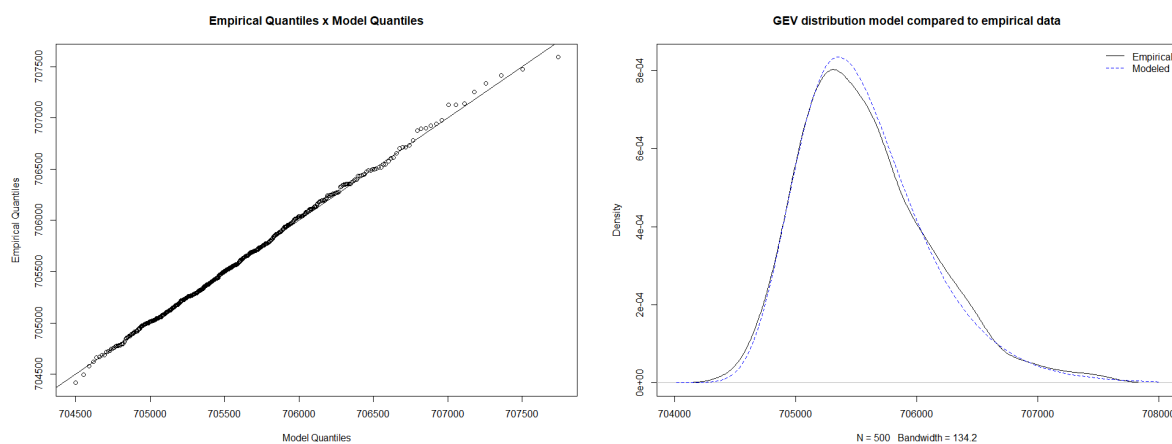
b Curva GEV com bloco 30



c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100

f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

Em relação aos resultados obtidos e apresentados na Figura 32, é possível observar algumas discrepâncias das curvas modeladas em relação às empíricas e distanciamentos dos valores modelados em relação à reta 1:1. Todavia, os resultados de todos os testes apresentaram ajustes razoáveis. No caso específico do presente experimento, os resultados obtidos com bloco de tamanho 100 apresentaram ajustes, na cauda da curva GEV e na aproximação dos pontos modelados à reta 1:1, um pouco melhores do que os demais.

A Tabela 7 apresenta os parâmetros usados para o ajuste da curva GEV no caso do uso de blocos com tamanho 30, 50 e 100, sendo eles local (μ), escala (σ) e forma (ξ).

Tabela 7 – Amostra 1 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704707,3480 | 704760,9581 | 704814,5682 |
| | σ | 514,6232 | 551,9631 | 589,3031 |
| | ξ | -0,1234 | -0,0688 | -0,0142 |
| 50 | μ | 704974,1004 | 705022,2556 | 705070,4108 |
| | σ | 460,2099 | 494,0222 | 527,8344 |
| | ξ | -0,1187 | -0,0618 | -0,0048 |
| 100 | μ | 705292,9968 | 705336,3449 | 705379,6931 |
| | σ | 410,1698 | 441,2936 | 472,4174 |
| | ξ | -0,1060 | -0,0433 | 0,0194 |

Fonte – Do Autor.

A Tabela 8 apresenta os valores estimados de pWCET com probabilidade de excedência igual a 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} e 10^{-8} no caso do uso de blocos com tamanho 30, 50 e 100.

Tabela 8 – Amostra 1 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708021,5538 | 709150,1881 | 710278,8223 |
| | 10^{-6} | 708200,0363 | 709682,5122 | 711164,9881 |
| | 10^{-7} | 708295,0748 | 710136,8454 | 711978,6159 |
| | 10^{-8} | 708327,3538 | 710524,6148 | 712721,8758 |
| 50 | 10^{-5} | 707985,9888 | 709092,5679 | 710199,1470 |
| | 10^{-6} | 708145,5287 | 709613,2976 | 711081,0665 |
| | 10^{-7} | 708224,5666 | 710064,9921 | 711905,4176 |
| | 10^{-8} | 708241,7057 | 710456,8044 | 712671,9031 |
| 100 | 10^{-5} | 708090,8182 | 709336,7917 | 710582,7652 |
| | 10^{-6} | 708227,9480 | 709924,1087 | 711620,2694 |
| | 10^{-7} | 708275,1504 | 710455,6699 | 712636,1894 |
| | 10^{-8} | 708248,3308 | 710936,7691 | 713625,2075 |

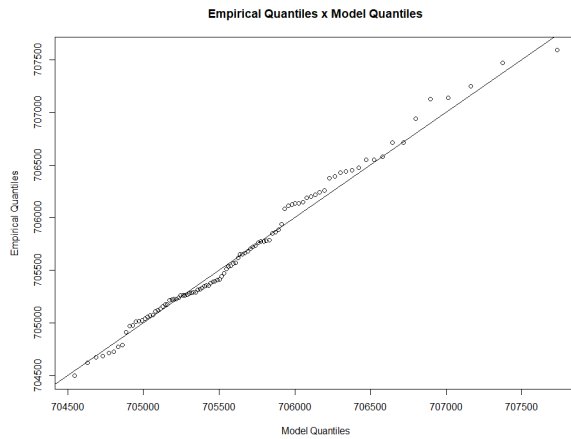
Fonte – Do Autor.

5.2.3 Análise variando a quantidade de blocos (Amostra 1)

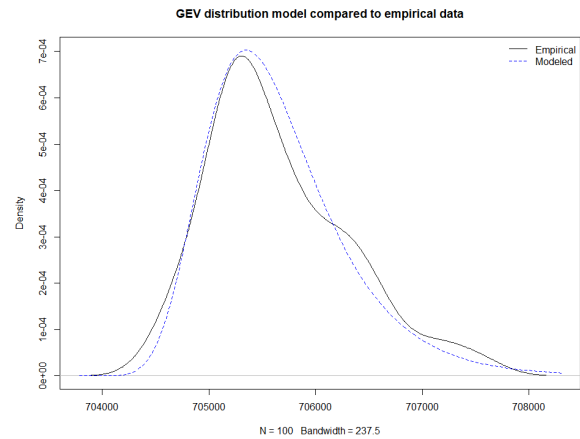
A Figura 33 apresenta os resultados da aplicação do método da TVE, valendo-se da variação da quantidade dos blocos em 100, 250 e 500 e mantendo o tamanho do bloco fixo em 100. Na área esquerda da Figura 33 (Figuras 33a, 33c e 33e), temos os gráficos Quantil-Quantil. Já na área direita da Figura 33 (Figuras 33b, 33d e 33f), encontram-se os gráficos da curva de distribuição GEV obtida, em que se compara a curva empírica e a curva modelada.

Em relação aos resultados obtidos e apresentados na Figura 33, é possível observar discrepâncias mais significativas do que observadas na Figura 32. Todavia, os resultados de todos os testes apresentaram ajustes razoáveis. No caso específico do presente experimento, os resultados obtidos com maior quantidade de blocos (Figuras 33e e 33f) apresentaram ajustes, na cauda da curva GEV e na aproximação dos pontos modelados à reta 1:1, melhores do que os demais, possivelmente em face da maior quantidade de valores usados para o ajuste.

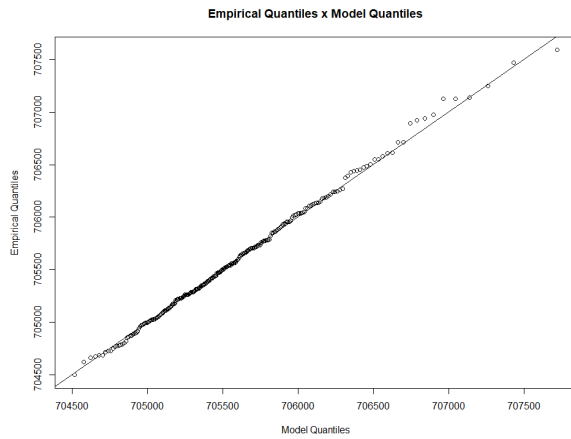
Figura 33 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 1 - Tarefa lms



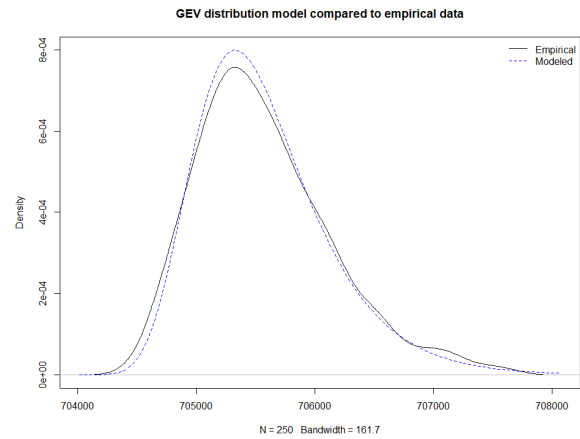
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



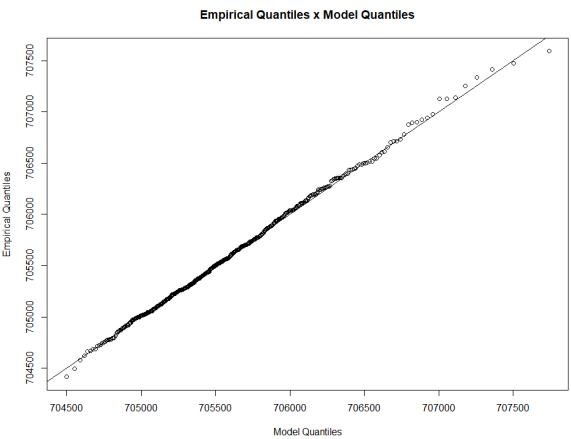
b Curva GEV com 100 blocos



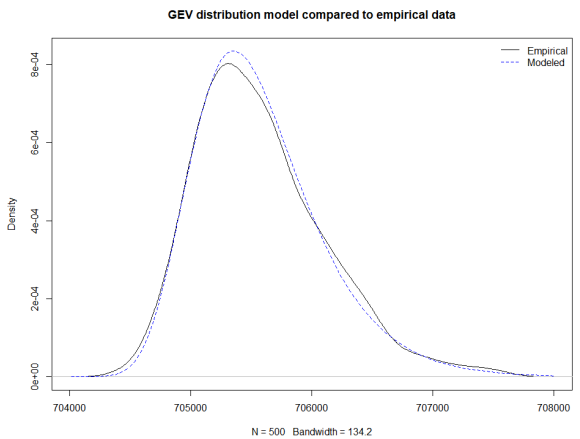
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

A Tabela 9 apresenta os parâmetros usados para o ajuste da curva GEV no caso do uso da quantidade de 100, 250 e 500 blocos, sendo eles local (μ), escala (σ) e forma (ξ).

Tabela 9 – Amostra 1 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705231,2341 | 705347,7404 | 705464,2468 |
| | σ | 437,5943 | 523,3411 | 609,0878 |
| | ξ | -0,1641 | -0,0051 | 0,1540 |
| 250 | μ | 705252,5725 | 705317,2191 | 705381,8656 |
| | σ | 413,8116 | 460,7074 | 507,6033 |
| | ξ | -0,1159 | -0,0209 | 0,0740 |
| 500 | μ | 705292,9968 | 705336,3449 | 705379,6931 |
| | σ | 410,1698 | 441,2936 | 472,4174 |
| | ξ | -0,1060 | -0,0433 | 0,0194 |

Fonte – Do Autor.

A Tabela 10 apresenta os valores estimados de pWCET com probabilidade de excedência igual a 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} e 10^{-8} no caso do uso da quantidade de 100, 250 e 500 blocos.

Tabela 10 – Amostra 1 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706174,5978 | 711200,3677 | 716226,1376 |
| | 10^{-6} | 705093,9355 | 712330,4375 | 719566,9394 |
| | 10^{-7} | 703616,0318 | 713447,3830 | 723278,7343 |
| | 10^{-8} | 701750,5205 | 714551,3586 | 727352,1967 |
| 250 | 10^{-5} | 707694,2967 | 710030,4212 | 712366,5457 |
| | 10^{-6} | 707559,7354 | 710844,2317 | 714128,7280 |
| | 10^{-7} | 707261,5797 | 711619,7360 | 715977,8923 |
| | 10^{-8} | 706815,6556 | 712358,7385 | 717901,8213 |
| 500 | 10^{-5} | 708090,8182 | 709336,7917 | 710582,7652 |
| | 10^{-6} | 708227,9480 | 709924,1087 | 711620,2694 |
| | 10^{-7} | 708275,1504 | 710455,6699 | 712636,1894 |
| | 10^{-8} | 708248,3308 | 710936,7691 | 713625,2075 |

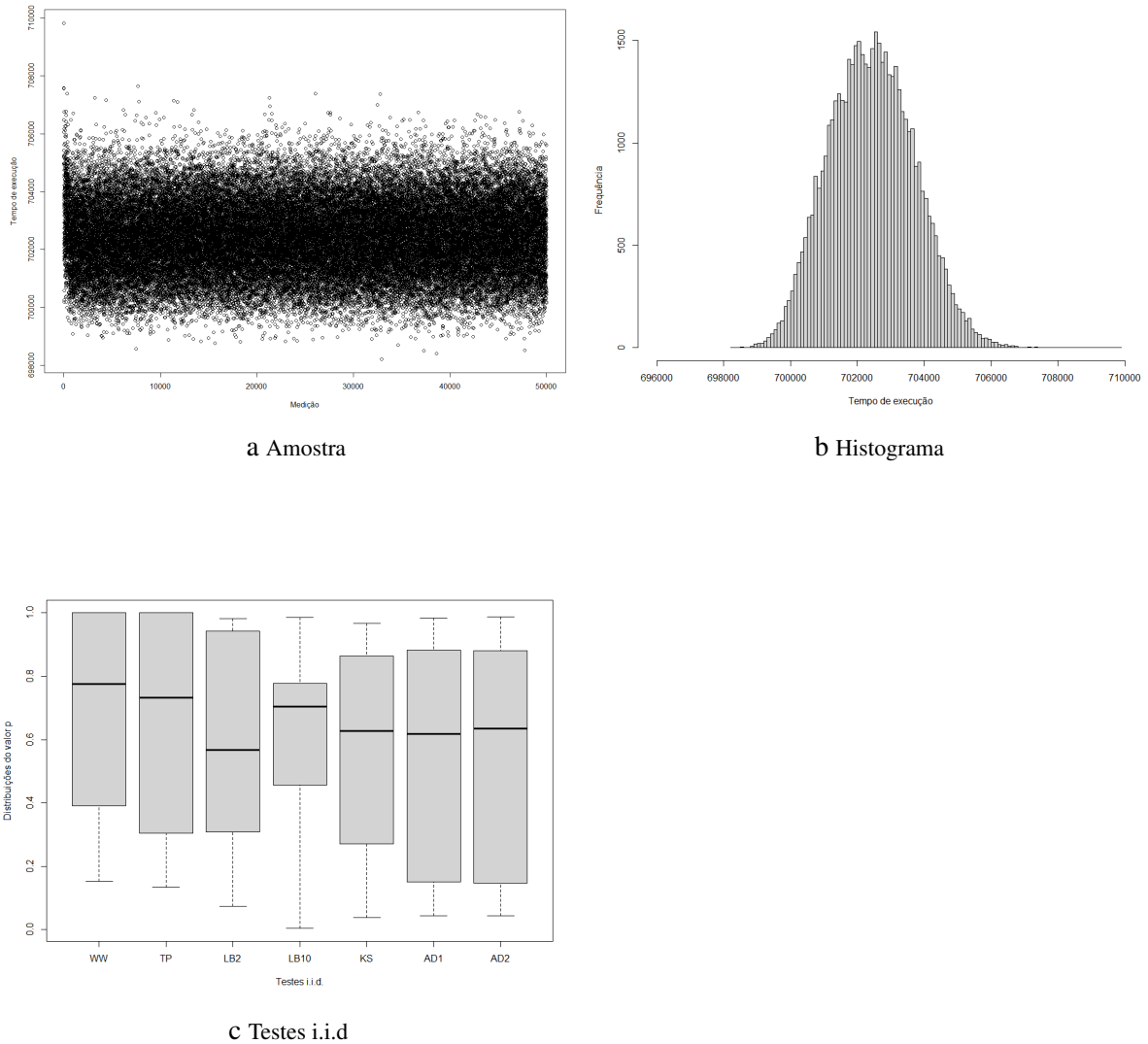
Fonte – Do Autor.

5.2.4 Análise preliminar da Amostra 10

As Figuras 34a e 34b apresentam os valores da amostra 10 e o histograma da amostra respectivamente. O tempo de execução da tarefa neste cenário varia entre 698213 e 709820, apresentando uma média de 702434 e desvio padrão de 1271,216 (Tabela 11). É possível notar o valor máximo observado como *outlier* nas primeiras execuções na Figura 34a. Para validar a

adequação da amostra através dos testes estatísticos supramencionados, a amostra foi dividida em 10 segmentos, cada um com 5000 medições, sobre os quais os testes foram aplicados.

Figura 34 – Amostra 10 - Tarefa lms



Fonte – Do Autor.

A Figura 34c mostra os gráficos *box and whisker* dos resultados dos testes estatísticos aplicados, ilustrando sobre os valores p obtidos: o mínimo, a mediana, o máximo e os quantis de 5% e 95%. Levando em consideração o fato de que os testes que empregamos são conhecidos por produzir valores p que são uniformemente distribuídos no intervalo [0, 1] quando H_0 é válido (ARCARO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018, 2017), os valores de p são aceitáveis, pois estão distribuídos no intervalo [0, 1] e não apresentam tendência para valores baixos (<5%).

Tabela 11 – Amostra 10 - Tarefa lms: Análise dos dados

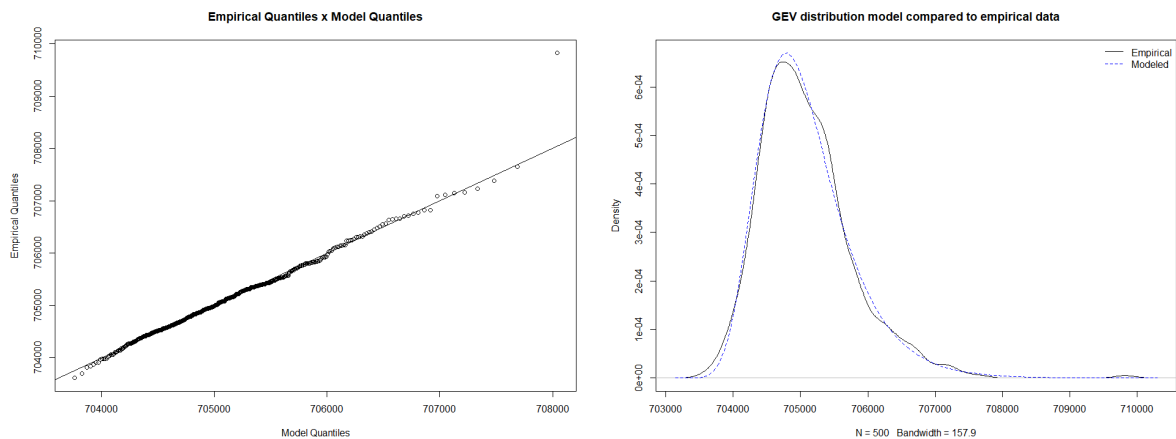
| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698213 | 701510 | 702419 | 702434 | 703313 | 709820 | 1271,216 | 1615989 |

Fonte – Do Autor.

5.2.5 Análise variando o tamanho do bloco (Amostra 10)

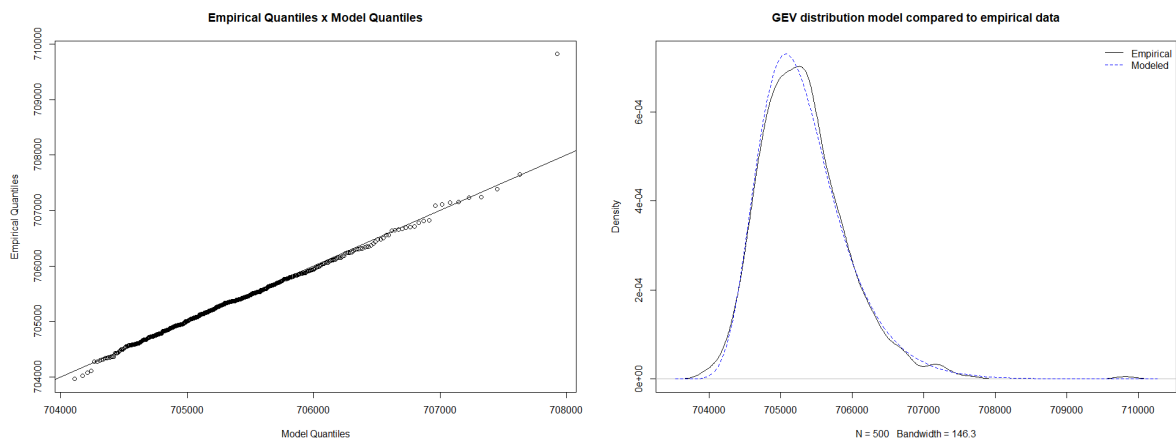
A Figura 35 apresenta os resultados da aplicação do método da TVE, valendo-se da variação do tamanho dos blocos em 30, 50 e 100 e mantendo a quantidade de blocos fixa em 500 blocos. Na área esquerda da Figura 35 (Figuras 35a, 35c e 35e), temos os gráficos Quantil-Quantil. Já na área direita da Figura 35 (Figuras 35b, 35d e 35f), encontram-se os gráficos da curva de distribuição GEV obtida, em que se compara a curva empírica e a curva modelada.

Figura 35 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 10 - Tarefa lms



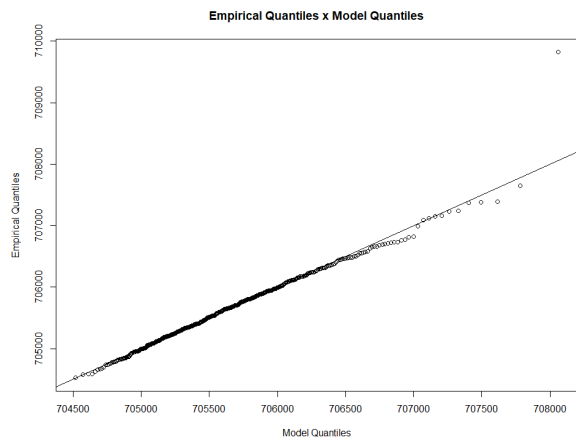
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30

b Curva GEV com bloco 30

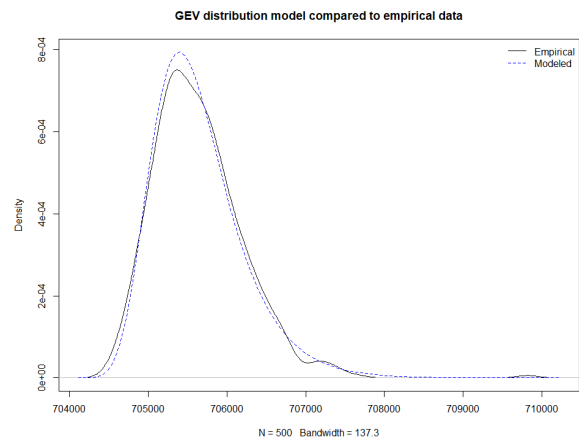


c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50

d Curva GEV com bloco 50



e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

Em relação aos resultados obtidos e apresentados na Figura 35, é possível observar algumas discrepâncias das curvas modeladas em relação às empíricas e distanciamentos dos valores modelados em relação à reta 1:1. Todavia, apesar dessas ocorrências não serem favoráveis, não há definição na literatura acerca do critério de aceitação em relação aos deslocamentos e, haja vista os resultados frequentemente obtidos em outros trabalhos na literatura, os resultados de todos os testes apresentaram ajustes razoáveis. No caso específico do presente experimento, os resultados obtidos com bloco de tamanho 30 apresentaram ajustes, na cauda da curva GEV e na aproximação dos pontos modelados à reta 1:1, um pouco melhores do que os demais.

A Tabela 12 apresenta os parâmetros usados para o ajuste da curva GEV no caso do uso de blocos com tamanho 30, 50 e 100, sendo eles local (μ), escala (σ) e forma (ξ).

Tabela 12 – Amostra 10 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704722,4338 | 704775,4439 | 704828,4540 |
| | σ | 511,4667 | 549,1533 | 586,8400 |
| | ξ | -0,0661 | -0,0146 | 0,0369 |
| 50 | μ | 705005,4051 | 705053,7017 | 705101,9982 |
| | σ | 470,0475 | 504,1627 | 538,2780 |
| | ξ | -0,0748 | -0,0285 | 0,0178 |
| 100 | μ | 705338,5942 | 705383,3280 | 705428,0617 |
| | σ | 431,4646 | 463,3479 | 495,2313 |
| | ξ | -0,0741 | -0,0240 | 0,0260 |

Fonte – Do Autor.

A Tabela 13 apresenta os valores estimados de pWCET com probabilidade de excedência igual a 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} e 10^{-8} no caso do uso de blocos com tamanho 30, 50 e 100.

Tabela 13 – Amostra 10 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708971,4382 | 710595,2493 | 712219,0604 |
| | 10^{-6} | 709354,9749 | 711646,4164 | 713937,8579 |
| | 10^{-7} | 709604,9523 | 712662,8486 | 715720,7450 |
| | 10^{-8} | 709729,8935 | 713645,6955 | 717561,4974 |
| 50 | 10^{-5} | 708791,8917 | 710001,2829 | 711210,6740 |
| | 10^{-6} | 709140,8751 | 710810,3344 | 712479,7937 |
| | 10^{-7} | 709386,6367 | 711567,9521 | 713749,2675 |
| | 10^{-8} | 709540,9816 | 712277,4069 | 715013,8321 |
| 100 | 10^{-5} | 708812,6948 | 710043,0575 | 711273,4203 |
| | 10^{-6} | 709116,6300 | 710829,9571 | 712543,2843 |
| | 10^{-7} | 709318,1624 | 711574,4684 | 713830,7744 |
| | 10^{-8} | 709427,5369 | 712278,8758 | 715130,2148 |

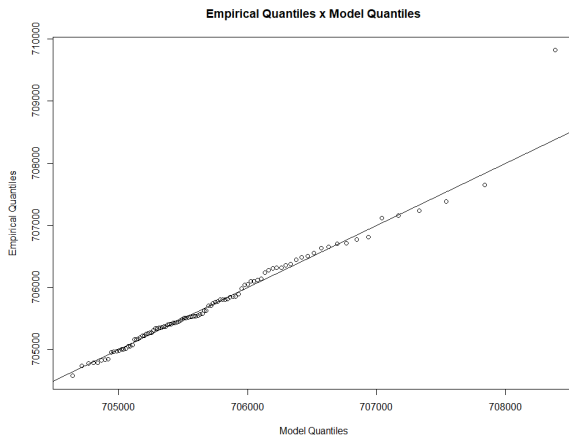
Fonte – Do Autor.

5.2.6 Análise variando a quantidade de blocos (Amostra 10)

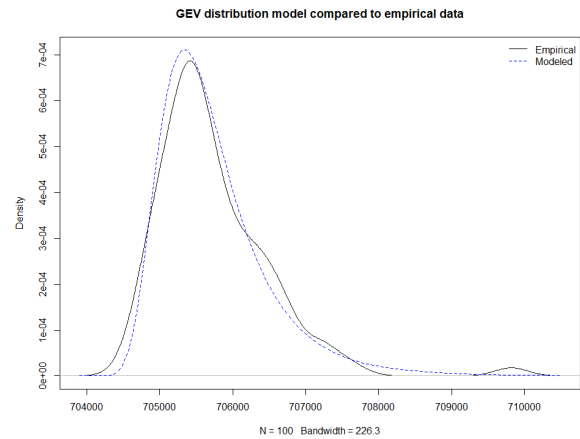
A Figura 36 apresenta os resultados da aplicação do método da TVE, valendo-se da variação da quantidade dos blocos em 100, 250 e 500 e mantendo o tamanho do bloco fixo em 100. Na área esquerda da Figura 36 (Figuras 36a, 36c e 36e), temos os gráficos Quantil-Quantil. Já na área direita da Figura 36 (Figuras 36b, 36d e 36f), encontram-se os gráficos da curva de distribuição GEV obtida, em que se compara a curva empírica e a curva modelada.

Em relação aos resultados obtidos e apresentados na Figura 36, é possível observar discrepâncias mais significativas do que observadas na Figura 35. Todavia, os resultados de todos os testes apresentaram ajustes razoáveis. No caso específico do presente experimento, os resultados obtidos com maior quantidade de blocos (Figuras 36e e 36f) apresentaram ajustes, na cauda da curva GEV e na aproximação dos pontos modelados à reta 1:1, melhores do que os demais, possivelmente em face da maior quantidade de valores usados para o ajuste.

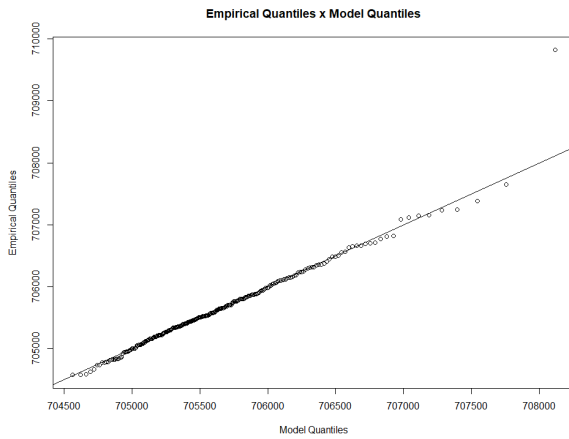
Figura 36 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 10 - Tarefa lms



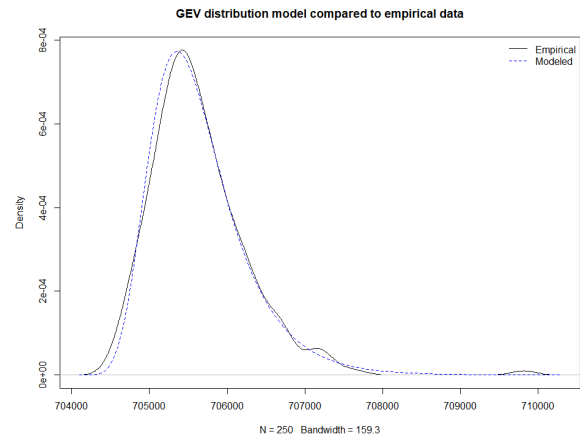
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



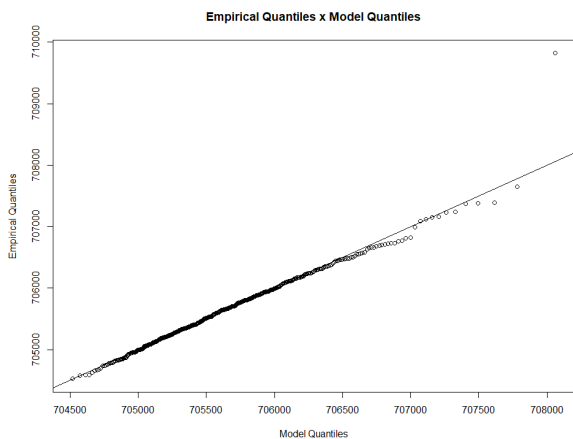
b Curva GEV com 100 blocos



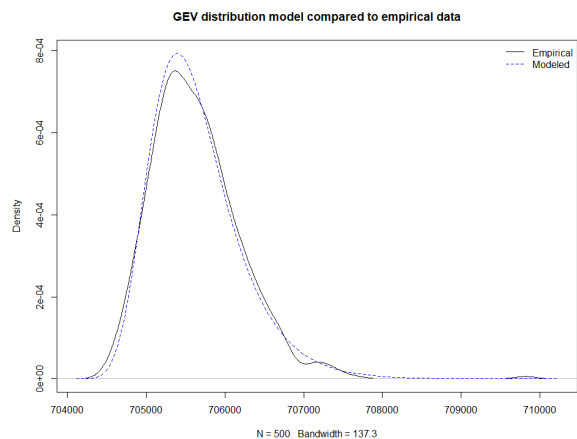
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

A Tabela 14 apresenta os parâmetros usados para o ajuste da curva GEV no caso do uso da quantidade de 100, 250 e 500 blocos, sendo eles local (μ), escala (σ) e forma (ξ).

Tabela 14 – Amostra 10 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705267,4934 | 705382,2210 | 705496,9487 |
| | σ | 432,8841 | 519,9850 | 607,0859 |
| | ξ | -0,0551 | 0,0941 | 0,2433 |
| 250 | μ | 705296,6129 | 705361,9958 | 705427,3786 |
| | σ | 428,2320 | 475,3014 | 522,3707 |
| | ξ | -0,0604 | 0,0172 | 0,0947 |
| 500 | μ | 705338,5942 | 705383,3280 | 705428,0617 |
| | σ | 431,4646 | 463,3479 | 495,2313 |
| | ξ | -0,0741 | -0,0240 | 0,0260 |

Fonte – Do Autor.

A Tabela 15 apresenta os valores estimados de pWCET com probabilidade de excedência igual a 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} e 10^{-8} no caso do uso da quantidade de 100, 250 e 500 blocos.

Tabela 15 – Amostra 10 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 705472,3625 | 716182,7560 | 726893,1494 |
| | 10^{-6} | 702041,4497 | 720132,5771 | 738223,7045 |
| | 10^{-7} | 696095,2105 | 725037,9441 | 753980,6778 |
| | 10^{-8} | 686618,0130 | 731130,0323 | 775642,0516 |
| 250 | 10^{-5} | 708696,2218 | 711412,7452 | 714129,2686 |
| | 10^{-6} | 708747,7856 | 712773,2415 | 716798,6973 |
| | 10^{-7} | 708548,1529 | 714188,6292 | 719829,1054 |
| | 10^{-8} | 708077,1731 | 715661,1252 | 723245,0773 |
| 500 | 10^{-5} | 708812,6948 | 710043,0575 | 711273,4203 |
| | 10^{-6} | 709116,6300 | 710829,9571 | 712543,2843 |
| | 10^{-7} | 709318,1624 | 711574,4684 | 713830,7744 |
| | 10^{-8} | 709427,5369 | 712278,8758 | 715130,2148 |

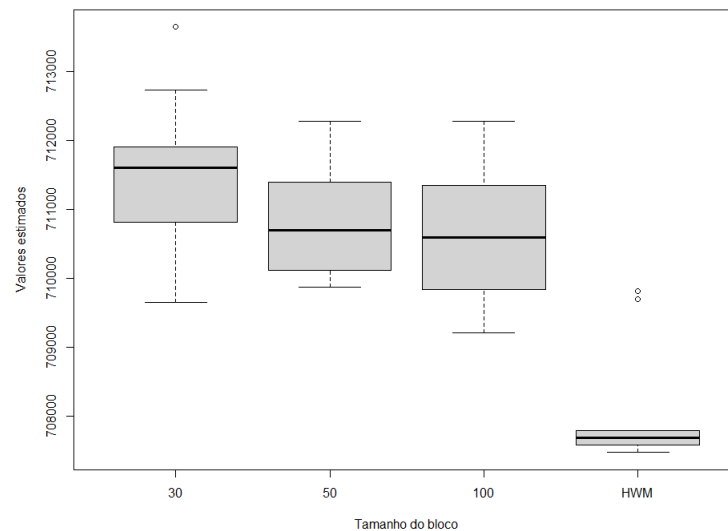
Fonte – Do Autor.

5.2.7 Análise da dispersão das amostras

Para avaliar os resultados obtidos das 10 amostras coletadas (Apêndice C), criou-se gráficos *box and whisker* dos resultados dos pWCETs estimados com probabilidade de excedência igual a 10^{-8} e também dos 10 maiores valores observados (HWM), isto é, o HWM de cada amostra, ilustrando sobre os valores obtidos: o mínimo, a mediana, o máximo e os quantis de 5% e 95%.

A Figura 37 compara os valores estimados por tamanho do bloco com o HWM observado. É possível notar que, sob as condições específicas do presente experimento, a mediana de maior valor foi identificada no cenário dos resultados para o bloco igual a 30, enquanto os demais tamanho de blocos possuem medianas com valores que se aproximam. As medianas obtidas para cada tamanho de bloco são, respectivamente, 711602, 710697 e 710592, implicando em variações inferiores a 0,142%. Em todos os casos, as medianas e valores máximos obtidos distam dos HWMs observados, inclusive em relação aos dois *outliers* observados em duas das amostras coletadas (Amostras 2 e 10).

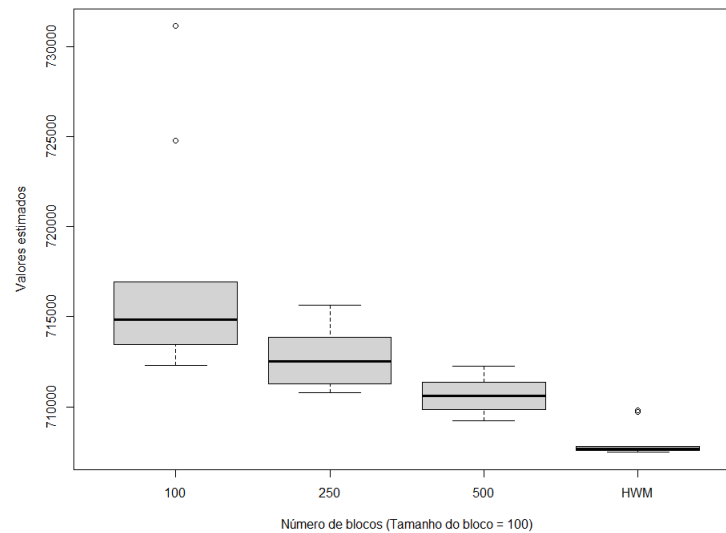
Figura 37 – Valores estimados por tamanho do bloco com probabilidade de excedência = 10^{-8}



Fonte – Do Autor.

Já a Figura 38, por sua vez, compara os valores estimados por quantidade de blocos com o HWM observado. É possível notar que, sob as condições específicas do presente experimento, tanto a mediana quanto a variância dos valores estimados diminuíram à medida que mais blocos foram empregados, possivelmente, isso ocorre devido ao aumento da quantidade de dados usados para a análise. As medianas obtidas para cada tamanho de bloco são, respectivamente, 714851, 712539 e 710592, implicando em variações inferiores a 0,6%. Em todos os casos, as medianas e valores máximos obtidos distam dos HWMs observados, inclusive em relação aos dois *outliers* observados em duas das amostras coletadas.

Figura 38 – Valores estimados por quantidade de blocos com probabilidade de excedência = 10^{-8}



Fonte – Do Autor.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, sob as condições dos experimentos realizados, é possível concluir que, em ambos os cenários, quando mais blocos são utilizados, há menor dispersão dos dados dos valores estimados. Todavia, a variabilidade, por sua vez, é inerente ao método. Há variações nos resultados, mas apesar de visualmente perceptível devido à escala dos gráficos utilizados na análise, o espalhamento é de fato relativamente pequeno. Para cada cenário e probabilidade de excedência considerada, foram obtidos 50 valores de pWCET e as variações encontradas foram sempre menores que 1%.

Em relação ao cenário 1, a aplicação da TVE se mostrou uma alternativa adequada, com resultados satisfatórios em todos os casos. Todavia, na condição deste experimento, segundo os resultados obtidos, variando o tamanho dos blocos, o uso do tamanho de bloco 30 gerou resultados com melhor adequação ao modelo. Já segundo os resultados obtidos, variando a quantidade de blocos, o uso da quantidade de 500 blocos, gerou os resultados com melhor adequação ao modelo.

Quanto ao cenário 2, em duas das dez amostras com 50.000 medições foram observados *outliers* muito discrepantes do restante dos valores da amostra, isto é, em cada uma foi observado um *outlier*. A rigor, a presença desses *outliers* demonstraria pouca confiança nos resultados obtidos quando da aplicação da técnica MBPTA. Porém os dois valores de pico observados foram encontrados entre as cinco primeiras execuções de cada amostra, respectivamente, demonstrando que sua ocorrência está possivelmente relacionada ao período de inicialização

do sistema, durante o qual ocorre, por exemplo, o preenchimento das memórias *cache*. Cabe, portanto, ao desenvolvedor a decisão de adotar ou não a análise a depender da criticalidade do sistema e seu contexto de inicialização, optando por considerar a análise do comportamento em regime ou descartar por completo a análise.

Sobre a variação do tamanho dos blocos e quantidade de blocos utilizados nos experimentos, cabe ressaltar que apesar de nossas medições por vezes apresentarem tendências com respeito ao número de blocos e ao tamanho dos blocos, não é possível generalizar o que observamos neste sentido, face ao que é reportado na literatura de MBPTA em geral.

Em relação à totalidade dos experimentos realizados, o desenvolvedor pode usar duas abordagens frente aos resultados obtidos: observar os 50 ajustes (10 amostras com 5 combinações de tamanho de bloco e quantidade de blocos) e escolher o que melhor se adequa ou escolher a maior estimativa entre os 50 pWCETs. Em ambos os casos, o resultado será entre 1% a 2% superior ao HWM, considerando-se uma probabilidade de excedência de 10^{-8} . Por sua vez, a abordagem mais usual na indústria utiliza um fator de segurança de 20% em relação ao HWM, sendo assim, a MBPTA se posiciona como mais uma ferramenta de estimação que pode ser utilizada, capaz de prover resultados potencialmente bem menos pessimistas.

6 CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho, avaliou-se a aplicabilidade da Análise de Tempo Probabilística Baseada em Medições (*Measurement-Based Probabilistic Timing Analysis*, MBPTA), baseada na Teoria dos Valores Extremos. A avaliação foi realizada no caso específico de um sistema operacional relevante para sistemas de tempo real no contexto de arquiteturas complexas, ou seja, usando processadores com vários recursos de aceleração implementados em *hardware*.

Inicialmente foi realizado um levantamento sobre as diversas abordagens encontradas na literatura acerca do tema e dos trabalhos relacionados mais relevantes. O Capítulo 2 mostrou que existem muitas variantes na aplicação da MBPTA e diversas questões em aberto acerca do tema e que não possuem consenso na literatura, tais como a definição do tamanho da amostra, qual o melhor método a ser utilizado, tamanho de bloco ou valor limiar, método para ajuste do modelo, etc. Nesse sentido, limitou-se o escopo do trabalho à aplicação do método Máximos de Blocos.

Como estudo de caso, foi escolhido um SO compatível com a ARINC 653, uma especificação de sistema operacional para sistemas aviônicos, implementado sobre uma plataforma BeagleBone anteriormente (ARCARO, 2015). O Capítulo 3 apresentou as características principais da especificação e da plataforma adotadas, além da configuração de suas partições e respectiva escala temporal, sendo também abordados os recursos de *software* utilizados para realizar a amostragem de tempos de execução e sua subsequente análise estatística.

Diversos testes foram realizados para avaliar se o comportamento temporal da aplicação estava sujeito a variações. No Capítulo 4, foram abordados aspectos que resultaram em alterações no valor médio dos tempos de execução amostrados, tais como a variação dos dados de entrada e questões intrínsecas ao *hardware* adotado. Os testes realizados comprovaram que o isolamento temporal, que deveria ser estabelecido por meio do particionamento do SO segundo a especificação ARINC 653, não é, por vezes, respeitado em função das características do *hardware* utilizado. No entanto, cabe ressaltar que a implementação do SO na plataforma adotada não foi certificada, podendo haver também aspectos de *software* que causam impacto na condução dos experimentos.

Os testes realizados com os cenários escolhidos no Capítulo 5 demonstraram que, apesar da existência de fatores que podem afetar o comportamento temporal da aplicação, o comportamento em regime se apresentou estável e, de maneira geral, foi possível aplicar a técnica MBPTA e os resultados dos ajustes obtidos foram satisfatórios. O Capítulo 5 descreve dois cenários em que foram coletadas 10 amostras com 50.000 medições. Para cada cenário, foram usados 3 diferentes tamanhos de blocos e 3 diferentes quantidades de blocos. Foram gerados pWCETs para 4 diferentes probabilidades de excedência. No caso da probabilidade de excedência de 10^{-8} , ainda que 50 valores distintos de pWCET tenham sido obtidos, a diferença entre eles resultou em valores relativos menores do que 1%, mostrando que o método, apesar de sua variabilidade inerente, fornece resultados consistentes. Em todos os casos considerados, a mediana dos pWCETs (10^{-8})

obtidos foi maior do que o HWM observado.

Sendo assim, a principal contribuição deste trabalho foi demonstrar que, sob as condições dos experimentos realizados, os resultados são favoráveis em relação à aplicação da técnica MBPTA sobre tarefas executadas na plataforma BeagleBone. Plataforma essa que é de baixo custo e que possui recursos modernos de aceleração de *hardware*, tornando financeiramente acessível o desenvolvimento de outros trabalhos nesse segmento. Além do mais, a possibilidade de uso da técnica MBPTA se mostrou uma alternativa bem menos pessimista para estimar o pWCET em comparação com fatores usuais de segurança empregados na indústria (e.g. 20%).

Todavia, há que se ressaltar que o estudo realizado possui limitações, tais como os algoritmos adotados, uma vez que, muito embora *Benchmarks* sejam de uso comum na literatura, em uma aplicação real algoritmos mais complexos seriam utilizados e geralmente as variáveis de entrada não possuiriam valores fixos, como ocorre neste trabalho. Os resultados obtidos são válidos para os *Benchmarks* usados, mas não são necessariamente representativos para qualquer tarefa que possa vir a ser executada no futuro. Essa questão, por sua vez, abre margem para trabalhos futuros em que se utilize dados de aplicações reais e que sejam feitos experimentos com tarefas representativas de aplicações específicas.

Outra possibilidade de trabalho futuro seria investigar em detalhe as possíveis origens e causas de interferências no comportamento temporal da aplicação oriundas do *hardware*, aprofundando em questões de arquitetura e organização de computadores e de engenharia eletrônica, considerando, por exemplo, o possível impacto da variação de temperatura nos tempos de execução medidos.

Em suma, apesar de existirem grandes questões em aberto acerca da técnica, os resultados obtidos neste trabalho são promissores e abrem caminhos para possíveis novos trabalhos de aprofundamento acerca de aplicações em um contexto real desde que sejam observadas algumas particularidades, tais como: A) utilizar a configuração que de fato será aplicada em campo para efetuar as medições; B) realizar coletas após decorrido certo tempo de atividade da plataforma; C) utilizar os dados que são representativos das piores condições que se espera encontrar com o produto final, executando nas condições reais de operação.

6.1 RECONHECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ABELLA, Jaume; PADILLA, Maria; CASTILLO, Joan Del; CAZORLA, Francisco J. Measurement-Based Worst-Case Execution Time Estimation Using the Coefficient of Variation. **ACM Trans. Des. Autom. Electron. Syst.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 22, n. 4, jun. 2017. ISSN 1084-4309. DOI: 10.1145/3065924. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3065924>.

ABELLA, Jaume; QUIÑONES, Eduardo; WARTEL, Franck; VARDANEGA, Tullio; CAZORLA, Francisco J. Heart of Gold: Making the Improbable Happen to Increase Confidence in MBPTA. *In*: 2014 26TH EUROMICRO CONFERENCE ON REAL-TIME SYSTEMS. [S.l.: s.n.], 2014. P. 255–265. DOI: 10.1109/ECRTS.2014.33.

ALCON, Miguel; TABANI, Hamid; KOSMIDIS, Leonidas; MEZZETTI, Enrico; ABELLA, Jaume; CAZORLA, Francisco J. Timing of Autonomous Driving Software: Problem Analysis and Prospects for Future Solutions. *In*: 2020 IEEE REAL-TIME AND EMBEDDED TECHNOLOGY AND APPLICATIONS SYMPOSIUM (RTAS). [S.l.: s.n.], 2020. P. 267–280. DOI: 10.1109/RTAS48715.2020.000-1.

ARCARO, Luís Fernando. **Implementação de um sistema operacional compatível com a a especificação ARINC 653. Dissertação (Mestrado)**. 2015. F. 324. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ARCARO, Luís Fernando. **Increasing the Reliability and Applicability of Measurement-Based Probabilistic Timing Analysis**. 2019. F. 245. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ARCARO, Luís Fernando; SILVA, Karila Palma; OLIVEIRA, Rômulo Silva De. On the Reliability and Tightness of GP and Exponential Models for Probabilistic WCET Estimation. **ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems**, v. 23, n. 3, p. 1–27, 2018. ISSN 1084-4309. DOI: 10.1145/3185154.

ARINC. **Avionics application software standard interface Part 1-Required services (ARINC Specification 653P1-2)**. [S.l.]: 2551 Riva Road, Annapolis, Maryland 21401-7435, 2006.

ARM. **ARM Cortex-A Series Programmer's Guide**. [S.l.: s.n.], jan. 2014. version 4.0, issue D, ARM DEN0013D (ID012214). Disponível em: <https://developer.arm.com/documentation/den0013/d/>.

BEAGLEBOARD.ORG. **BeagleBone**. [S.l.: s.n.], nov. 2016. Disponível em: <http://beagleboard.org/bone-original>.

BUTTAZZO, Giorgio C. **Hard Real-Time Computing Systems**. Edição: John A. Stankovic (University of Virginia, Virginia, USA). 3. ed. [S.l.]: Springer, 2011. P. 538. ISBN 978-1-4614-0675-4. DOI: 10.1007/978-1-4614-0676-1.

CAZORLA, Francisco J.; KOSMIDIS, Leonidas; MEZZETTI, Enrico; HERNANDEZ, Carles; ABELLA, Jaume; VARDANEGA, Tullio. Probabilistic Worst-Case Timing Analysis: Taxonomy and Comprehensive Survey. **ACM Comput. Surv.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 52, n. 1, fev. 2019. ISSN 0360-0300. DOI: 10.1145/3301283. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3301283>.

CIVIT, Xavier; CASTILLO, Joan del; ABELLA, Jaume. A Reliable Statistical Analysis of the Best-Fit Distribution for High Execution Times. *In: 2018 21ST EUROMICRO CONFERENCE ON DIGITAL SYSTEM DESIGN (DSD)*. [S.l.: s.n.], 2018. P. 727–734. DOI: 10.1109/DSD.2018.00012.

COLES, Stuart. **An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values**. London, United Kingdom: Springer-Verlag, 2001. ISBN 1852334592.

COLEY, Gerald. **BeagleBone Black System Reference Manual**. Versão Revision C.1. Dallas, Texas, USA: Texas Instruments, 2013.

CUCU-GROSJEAN, Liliana *et al.* Measurement-Based Probabilistic Timing Analysis for Multi-path Programs. *In: 2012 24TH EUROMICRO CONFERENCE ON REAL-TIME SYSTEMS*. [S.l.: s.n.], 2012. P. 91–101. DOI: 10.1109/ECRTS.2012.31.

DAVIS, Robert; CUCU-GROSJEAN, Liliana. A Survey of Probabilistic Schedulability Analysis Techniques for Real-Time Systems. **LITES: Leibniz Transactions on Embedded Systems**, p. 1–53, 2019. ISSN 2199-2002. DOI: 10.4230/LITES-v006-i001-a004.

DEVORE, Jay L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. [S.l.]: Cengage Learning Edições Ltda., 2010. P. 704. ISBN 9788522109241. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=0dojnQAACAAJ>.

EEMBC. **AutoBench 1.1 software benchmark data book**. [S.l.]. Disponível em: https://www.eembc.org/techlit/datasheets/autobench_db.pdf.

FALK, Heiko *et al.* TACLeBench: A benchmark collection to support worst-case execution time research. *In: 16TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON WORST-CASE EXECUTION TIME ANALYSIS (WCET 2016)*. Toulouse, France: Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2016. (OpenAccess Series in Informatics), p. 2.1–2.10. DOI: 10.4230/OASICS.WCET.2016.2.

FERNANDEZ, Mikel *et al.* Probabilistic timing analysis on time-randomized platforms for the space domain. *In: PROCEEDINGS OF THE 2017 DESIGN, AUTOMATION AND TEST IN EUROPE CONFERENCE AND EXHIBITION 2017 (DATE'17)*. [S.l.]: IEEE, 2017. P. 738–739. DOI: 10.23919/DATE.2017.7927087.

GILLELAND, Eric. ExtRemes package: functions for performing extreme value analysis, 2020. Disponível em: <http://www.rdocumentation.org/packages/extRemes>.

GRIFFIN, David; BURNS, Alan. Realism in Statistical Analysis of Worst Case Execution Times. *In: 10TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON WORST-CASE EXECUTION TIME ANALYSIS (WCET 2010)*. Dagstuhl, Germany: Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2010. (OpenAccess Series in Informatics), p. 44–53. DOI: 10.4230/OASICS.WCET.2010.44.

GUSTAFSSON, Jan; BETTS, Adam; ERMEDAHL, Andreas; LISPER, Björn. The Mälardalen WCET Benchmarks: Past, Present And Future. *In: 10TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON WORST-CASE EXECUTION TIME ANALYSIS (WCET 2010)*. Dagstuhl, Germany: Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2010. P. 136–146. DOI: 10.4230/OASICS.WCET.2010.136. Disponível em: <http://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2010/2833>.

HERNANDEZ, Carles; ABELLA, Jaume; GIANARRO, Andrea; ANDERSSON, Jan; CAZORLA, Francisco J. Random Modulo: A New Processor Cache Design for Real-Time Critical Systems. *In: 2016 53ND ACM/EDAC/IEEE DESIGN AUTOMATION CONFERENCE (DAC)*. Austin, TX, USA: IEEE Press, 2016. P. 1–6. DOI: 10.1145/2897937.2898076. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2897937.2898076>.

HOSKING, Jonathan R. M. L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, [Royal Statistical Society, Wiley], v. 52, p. 105–124, 1990.

JOHN, Eugene; RUBIO, Juan. **Unique chips and systems**. [S.l.]: CRC Press, 2018.

KOSMIDIS, Leonidas; MAXIM, Cristian; JEGU, Victor; VATRINET, Francis; CAZORLA, Francisco J. Industrial Experiences with Resource Management under Software Randomization in ARINC653 Avionics Environments. *In: 2018 IEEE/ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER-AIDED DESIGN (ICCAD)*. [S.l.: s.n.], 2018. P. 1–7. DOI: 10.1145/3240765.3240818.

KOSMIDIS, Leonidas; QUIÑONES, Eduardo; ABELLA, Jaume; VARDANEGA, Tullio; HERNANDEZ, Carles; GIANARRO, Andrea; BROSTER, Ian; CAZORLA, Francisco J. Fitting processor architectures for measurement-based probabilistic timing analysis. **Microprocessors and Microsystems**, v. 47, p. 287–302, 2016a. ISSN 0141-9331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2016.07.014>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141933116300977>.

KOSMIDIS, Leonidas; VARGAS, Roberto; MORALES, David; QUIÑONES, Eduardo; ABELLA, Jaume; CAZORLA, Francisco J. TASA: Toolchain-Agnostic Static Software Randomisation for Critical Real-Time Systems. *In: PROCEEDINGS OF THE 35TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER-AIDED DESIGN*. Austin, Texas: Association for Computing Machinery, 2016b. (ICCAD '16). DOI: 10.1145/2966986.2967078. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2966986.2967078>.

KOTABA, Ondrej; NOWOTSCH, Jan; PAULITSCH, Michael; PETTERS, Stefan M; THEILING, Henrik. Multicore in real-time systems—temporal isolation challenges due to shared resources. *In: 16TH DESIGN, AUTOMATION & TEST IN EUROPE CONFERENCE AND EXHIBITION*. [S.l.: s.n.], 2013.

KWAK, Sung-Woo; YOO, Ho-Sik; SHIM, Hye-Won; LEE, Ho-Jin; LEE, Jong-Uk; KIM, Jae-kwang; KIM, Jung-Soo. Development of Real-Time Monitoring System for Nuclear Material in Transport. *In: 2006 IEEE NUCLEAR SCIENCE SYMPOSIUM CONFERENCE RECORD*. [S.l.: s.n.], 2006. P. 3718–3720. DOI: 10.1109/NSSMIC.2006.353801.

LAIO, Francesco. Cramer-von Mises and Anderson-Darling goodness of fit tests for extreme value distributions with unknown parameters. **Water Resources Research**, v. 40, n. 9, p. 1–10, 2004. ISSN 00431397. DOI: 10.1029/2004WR003204.

LIMA, George; BATE, Iain. Valid Application of EVT in Timing Analysis by Randomising Execution Time Measurements. *In: 2017 IEEE REAL-TIME AND EMBEDDED TECHNOLOGY AND APPLICATIONS SYMPOSIUM (RTAS)*. [S.l.: s.n.], 2017. P. 187–198. DOI: 10.1109/RTAS.2017.17.

MARTINS, Eduardo S.; STEDINGER, Jerry R. Generalized maximum-likelihood generalized extreme-value quantile estimators for hydrologic data. **Water Resources Research**, Wiley, v. 36, p. 737–744, 2000. DOI: 10.1029/1999WR900330.

OLIVEIRA, Rômulo Silva de. **Fundamentos dos Sistemas de Tempo Real**. Ed. do Autor. [S.l.: s.n.], 2018.

OTTERNESS, Nathan; YANG, Ming; RUST, Sarah; PARK, Eunbyung; ANDERSON, James H.; SMITH, F. Donelson; BERG, Alex; WANG, Shige. An Evaluation of the NVIDIA TX1 for Supporting Real-Time Computer-Vision Workloads. *In: 2017 IEEE REAL-TIME AND EMBEDDED TECHNOLOGY AND APPLICATIONS SYMPOSIUM (RTAS)*. [S.l.: s.n.], 2017. P. 353–364. DOI: 10.1109/RTAS.2017.3.

RAPITA SYSTEMS LTD. **Rapita Verification Suite (RVS)**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.rapitasystems.com/products/rvs>.

REGHENZANI, Federico; MASSARI, Giuseppe; FORNACIARI, William. The Misconception of Exponential Tail Upper-Bounding in Probabilistic Real Time. **IEEE Embedded Systems Letters**, v. 11, n. 3, p. 77–80, 2019a. DOI: 10.1109/LES.2018.2889114.

REGHENZANI, Federico; MASSARI, Giuseppe; FORNACIARI, William; GALIMBERTI, Andrea. Probabilistic-WCET Reliability: On the Experimental Validation of EVT Hypotheses. *In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON OMNI-LAYER INTELLIGENT SYSTEMS*. Crete, Greece: Association for Computing Machinery, 2019b. (COINS '19), p. 229–234. DOI: 10.1145/3312614.3312660. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3312614.3312660>.

REGHENZANI, Federico; MASSARI, Giuseppe; SANTINELLI, Luca; FORNACIARI, William. Statistical power estimation dataset for external validation GoF tests on EVT distribution. **Data in Brief**, v. 25, p. 104071, 2019c. ISSN 2352-3409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104071>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340919304251>.

SANTINELLI, Luca; MORIO, Jérôme; DUFOUR, Guillaume; JACQUEMART, Damien. On the Sustainability of the Extreme Value Theory for WCET Estimation. *In: 14TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON WORST-CASE EXECUTION TIME ANALYSIS*. Dagstuhl, Germany: Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2014. (OpenAccess Series in Informatics (OASICS)), p. 21–30. DOI: 10.4230/OASICS.WCET.2014.21.

- SHIN, Changmin; LIM, Chaedeok; KIM, Joongheon; ROH, Heejun; LEE, Wonjun. A Software-Based Monitoring Framework for Time-Space Partitioned Avionics Systems. **IEEE Access**, v. 5, p. 19132–19143, 2017. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2755638.
- SILVA, Karila Palma; ARCARO, Luis Fernando; SILVA DE OLIVEIRA, Romulo. On Using GEV or Gumbel Models When Applying EVT for Probabilistic WCET Estimation. *In: 2017 IEEE REAL-TIME SYSTEMS SYMPOSIUM (RTSS)*. [S.l.: s.n.], 2017. P. 220–230. DOI: 10.1109/RTSS.2017.00028.
- SILVA, Karila Palma; ARCARO, Luís Fernando; OLIVEIRA, Daniel Bristot de; OLIVEIRA, Romulo Silva de. An Empirical Study on the Adequacy of MBPTA for Tasks Executed on a Complex Computer Architecture with Linux. *In: 2018 IEEE 23RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION (ETFA)*. [S.l.: s.n.], 2018. P. 321–328. DOI: 10.1109/ETFA.2018.8502513.
- TEXAS INSTRUMENTS. **AM335x Sitara™ Processors**: Technical Reference Manual. [S.l.], out. 2011. Rev. 2019, literature number SPRUH73Q. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/am3352.pdf>.
- VILARDELL, Sergi; SERRA, Isabel; ABELLA, Jaume; DEL CASTILLO, Joan; CAZORLA, Francisco J. Software Timing Analysis for Complex Hardware with Survivability and Risk Analysis. *In: 2019 IEEE 37TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER DESIGN (ICCD)*. [S.l.: s.n.], 2019. P. 227–236. DOI: 10.1109/ICCD46524.2019.00036.
- VRACHKOV, Dimitar Georgiev; TODOROV, Dimitar Georgiev. Real Time Diagnostics in the Automotive Industry over the Internet. *In: 2018 IX NATIONAL CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION (ELECTRONICA)*. [S.l.: s.n.], 2018. P. 1–3. DOI: 10.1109/ELECTRONICA.2018.8439608.
- WARTEL, Franck *et al.* Timing analysis of an avionics case study on complex hardware/software platforms. *In: 2015 DESIGN, AUTOMATION TEST IN EUROPE CONFERENCE EXHIBITION (DATE)*. [S.l.: s.n.], 2015. P. 397–402. DOI: 10.7873/DATE.2015.0189.

APÊNDICE A – SCRIPT R

```

1 #install.packages("extRemes")
2 #install.packages("tidyverse")
3 library(tidyverse)
4 library(extRemes)
5 options(digits=6)
6
7 #variables
8 num <- 0
9 i <- 0
10
11 pwcet_lm_B30 = c()
12 pwcet_lm_B50 = c()
13 pwcet_lm_B100 = c()
14 pwcet_lm_N100 = c()
15 pwcet_lm_N250 = c()
16 pwcet_lm_N500 = c()
17
18
19
20 while (num < 10)
21 {
22   num = num + 1
23   i = i +1
24
25   #loader
26   filedir <- str_c("C:.../Lms/", num)
27   setwd(filedir)
28   files <- list.files()
29   filename2 <- files[grep(".dat", files, fixed=T)]
30   teste <- read.delim(filename2, header = TRUE, sep = "\t", as.is = TRUE
31   )
32   head(teste)
33   tempo = (teste[,1])
34   head(tempo)
35
36   setwd(str_c(filedir, "/Testes"))
37   txtFile = "bs1.txt"
38   cat("jessica-analises\n\n\n", file=txtFile, append=FALSE)
39
40   # functions
41   catcat = function( zz )
42   {
43     cat( zz, "\n" )
44     cat( zz, "\n", file=txtFile, append=TRUE)
45   }

```

```
45
46   comecaTabela = function(label , Nome)
47   {
48     cat("\\begin{table}[H]\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
49     cat("\\ABNTEXfontereduzida\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
50     cat("\\caption {\\label{tab:}", file=txtFile ,append=TRUE)
51     cat(label , file=txtFile ,append=TRUE)
52     cat("} ", file=txtFile ,append=TRUE)
53     cat(Nome, file=txtFile ,append=TRUE)
54     cat("}\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
55     cat("\\begin{center}\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
56   }
57
58   tab_amostra = function()
59   {
60     cat("\\begin{tabular}{@{}p{1.5cm}p{1.5cm}p{1.5cm}p{1.5cm}p{1.5cm}p{1.5cm}p{1.5cm}p{1.5cm}@{}\\n\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
61     cat("\\toprule\\n\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
62   }
63
64   tab_param = function()
65   {
66     cat("\\begin{tabular}{@{}p{4.5cm}p{3.5cm}p{2.5cm}p{3.5cm}@{}\\n\\n",
67         file=txtFile ,append=TRUE)
68     cat("\\toprule\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
69     cat("\\n\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
70   }
71
72   terminaTabela = function()
73   {
74     cat("\\n\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
75     cat("\\bottomrule\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
76     cat("\\end{tabular}\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
77     cat("\\fonte{Do Autor.}\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
78     cat("\\end{center}\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
79     cat("\\end{table}\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
80     cat("\\n\\n\\n", file=txtFile ,append=TRUE)
81   }
82
83   cria_figura = function(nome,w ,h)
84   {
85     png(nome, width = w, height = h, pointsize = 16)
86   }
87
88   specify_decimal <- function(x, k) trimws(format(round(x, k), nsmall=k))
89
```

```

90 dados_amostra = function(faixa , bloco , nome)
91 {
92     comecaTabela("ch5_1_1",str_c("Amostra ", num," - Tarefa LMS:
          An lise dos dados (Bloco = ",bloco,")") )
93     tab_amostra()
94     catcat("\\textbf{M nimo} & \\textbf{Primeiro Quartil} & \\textbf{
          Mediana} & \\textbf{M dia} & \\textbf{Terceiro Quartil} & \\
          textbf{M ximo} & \\textbf{Desvio Padr o} & \\textbf{Vari ncia
          }\\\\ \\midrule")
95     cat("\\n", file=txtFile , append=TRUE)
96     cat(paste("\\",min(faixa), " & ", quantile(faixa , 0.25), " & ",
          median(faixa)," & ", specify_decimal(mean(faixa),2), " & ",
          quantile(faixa , 0.75), " & ", max(faixa), " & ", specify_decimal
          (sd(faixa),4) , " & ", specify_decimal(var(faixa),4), " \\\\"),
          file=txtFile , append=TRUE)
97     terminaTabela()
98
99     cria_figura(str_c(nome,"_c2_",num,".png"), 1229, 950)
100    plot(faixa , main="Amostragem do tempo")
101    dev.off()
102
103    cria_figura(str_c(nome,"hist_c2_",num,".png"), 970, 750)
104    hist(faixa , xlim = c(696000,710000), nclass=100, main="Histogram of
          Time")
105    dev.off()
106 }
107
108 blockmaxima = function(pop, blocksize)
109 {
110     popsize <- length(pop)
111     sample <- numeric(popsize/blocksize)
112     b=1
113     while(b<=length(sample))
114     {
115         sample[b] <- max( pop[ (1+(b-1)*blocksize) : (b*blocksize) ] )
116
117         b=b+1
118     }
119     return(sample)
120 }
121
122 fitting = function(faixa , bloco , nome)
123 {
124     maximos = blockmaxima(faixa , bloco)
125
126     print("Ajustando faixa para a GEV com MLE\n")
127

```



```

128 # maximum-likelihood fitting of the GEV distribution
129 fit_gev_mle <- fevd(as.vector(maximos), units="MReais", period.
    basis = "bloco", method="MLE", type="GEV")
130
131 cria_figura(str_c(nome, "_GEV_c2_", num, ".png"), 970, 750)
132 plot(fit_gev_mle)
133 dev.off()
134
135 cria_figura(str_c(nome, "_qq_c2_", num, ".png"), 970, 750)
136 plot(fit_gev_mle, type="qq", main="Empirical Quantiles x Model
    Quantiles")
137 dev.off()
138
139 cria_figura(str_c(nome, "_curva_c2_", num, ".png"), 970, 750)
140 plot(fit_gev_mle, type="density", main="GEV distribution model
    compared to empirical data")
141 dev.off()
142
143 cat("\n\n", file=txtFile, append=TRUE)
144 catcat("Intervalos de confianca associados com os parametros do
    ajuste\n")
145 comecaTabela("ch5_1_2", str_c("Amostra ", num, " - Tarefa LMS:
    Par metros usados para o ajuste (Bloco = ", bloco, ")") )
146 tab_param()
147 a <- formatC(ci(fit_gev_mle, type="parameter"), format="f", digits
    = 4)
148 write.table(a, file=txtFile, sep=" & ", eol="\n", append=TRUE, row.
    names=FALSE, col.names=FALSE, quote =FALSE)
149 terminaTabela()
150
151 cat("\n\n", file=txtFile, append=TRUE)
152 catcat("Probabilidade de excedencia a cada 'return period'\n\n")
153 comecaTabela("ch5_1_3", str_c("Amostra ", num, " - Tarefa LMS:
    Probabilidade de Exced ncia (Bloco = ", bloco, ")") )
154 tab_param()
155 write.table(formatC(ci(fit_gev_mle, type="return.level", return.
    period= c(100000,1000000,10000000,100000000)), format="f",
    digits = 4), file=txtFile, sep=" & ", eol="\n", append=TRUE, row.
    names=FALSE, col.names=FALSE, quote =FALSE)
156 terminaTabela()
157
158 }
159
160 # variando o block size, numero de blocos fixo (500)
161 catcat("Variando o block size, numero de blocos fixo (500)\n")
162
163 faixa30 = tempo[1:15000]

```

```
164   faixa50 = tempo[1:25000]
165   faixa100 = tempo[1:50000]
166
167   # B30
168   catcat("\n\n\nBloco 30\n")
169   dados_amostra(faixa30, 30, "amostra_b30")
170   fitting(faixa30, 30, "amostra_b30")
171
172   maximos = blockmaxima(faixa30, 30)
173   fit_gev_mle <- fevd(as.vector(maximos), units="MReais", period.basis =
174     "bloco", method="MLE", type="GEV")
175   pwctet_lm_B30[i] = return.level(fit_gev_mle, conf = 0.05, return.period
176     =100000000)
177
178   # B50
179   catcat("\n\n\nBloco 50\n")
180   dados_amostra(faixa50, 50, "amostra_b50")
181   fitting(faixa50, 50, "amostra_b50")
182
183   maximos = blockmaxima(faixa50, 50)
184   fit_gev_mle <- fevd(as.vector(maximos), units="MReais", period.basis =
185     "bloco", method="MLE", type="GEV")
186   pwctet_lm_B50[i] = return.level(fit_gev_mle, conf = 0.05, return.period
187     =100000000)
188
189   # B100
190   catcat("\n\n\nBloco 100\n")
191   dados_amostra(faixa100, 100, "amostra_b100")
192   fitting(faixa100, 100, "amostra_b100")
193
194   maximos = blockmaxima(faixa100, 100)
195   fit_gev_mle <- fevd(as.vector(maximos), units="MReais", period.basis =
196     "bloco", method="MLE", type="GEV")
197   pwctet_lm_B100[i] = return.level(fit_gev_mle, conf = 0.05, return.period
198     =100000000)
199
200
201   # variando o numero de blocos, block size fixo (100)
202   faixan100 = tempo[1:10000]
203   faixan250 = tempo[1:25000]
204   faixan500 = tempo[1:50000]
205
206   # N100
207   catcat("\n\n\n N mero de blocos: 100\n")
208   dados_amostra(faixan100, 100, "amostra_n100")
209   fitting(faixan100, 100, "amostra_n100")
```

```

205
206   maximos = blockmaxima(faixan100 , 100)
207   fit_gev_mle <- fevd(as.vector(maximos), units="MReais", period.basis =
208     "bloco", method="MLE", type="GEV")
209   pwcet_lm_N100[i] = return.level(fit_gev_mle, conf = 0.05, return.period
210     =100000000)
211
212   # N250
213   catcat("\n\n N mero de blocos: 250\n")
214   dados_amostra(faixan250 , 100, "amostra_n250")
215   fitting(faixan250 , 100, "amostra_n250")
216
217   maximos = blockmaxima(faixan250 , 100)
218   fit_gev_mle <- fevd(as.vector(maximos), units="MReais", period.basis =
219     "bloco", method="MLE", type="GEV")
220   pwcet_lm_N250[i] = return.level(fit_gev_mle, conf = 0.05, return.period
221     =100000000)
222
223   # N500
224   catcat("\n\n N mero de blocos: 500\n")
225   dados_amostra(faixan500 , 100, "amostra_n500")
226   fitting(faixan500 , 100, "amostra_n500")
227
228   maximos = blockmaxima(faixan500 , 100)
229   fit_gev_mle <- fevd(as.vector(maximos), units="MReais", period.basis =
230     "bloco", method="MLE", type="GEV")
231   pwcet_lm_N500[i] = return.level(fit_gev_mle, conf = 0.05, return.period
232     =100000000)
233 }
234
235 hwm_1 <- c(707590, 709700, 707477, 707696, 707563, 707626, 707732, 707683,
236   707791, 709820)
237
238 boxplot( pwcet_lm_B30, pwcet_lm_B50, pwcet_lm_B100, hwm_1,
239   main= expression(paste("Estimated Values per Block Size with ", "
240     10"-8", " exceedance probability")),
241   xlab="Block size",
242   ylab="Estimated Values",
243   names = c("30", "50", "100", "HWM")
244 )
245
246 boxplot( pwcet_lm_N100, pwcet_lm_N250, pwcet_lm_N500, hwm_1,
247   main= expression(paste("Estimated Values per Number of Blocks with
248     ", "10"-8", " exceedance probability")),
249   xlab="Number of Blocks (Block size = 100)",

```

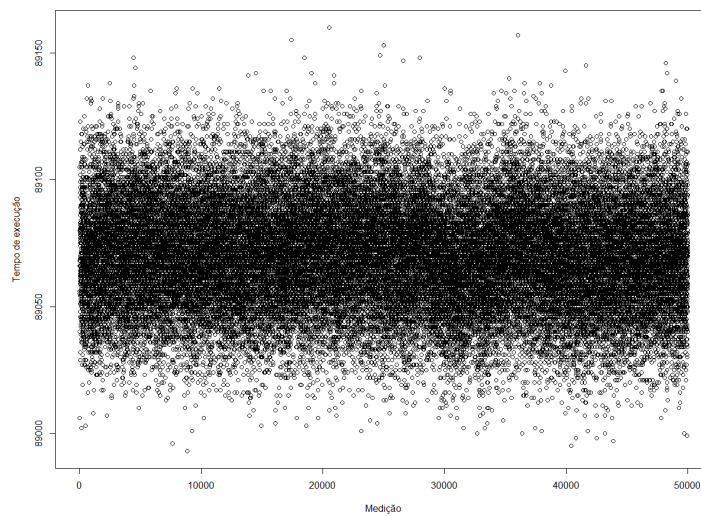
```
243     ylab="Estimated Values",
244     names = c("100", "250", "500", "HMM")
245 )
246
247 summary(pwcet_lm_B30)
248 summary(pwcet_lm_B50)
249 summary(pwcet_lm_B100)
250
251
252 summary(pwcet_lm_N100)
253 summary(pwcet_lm_N250)
254 summary(pwcet_lm_N500)
```

Listing A.1 – Código fonte em R

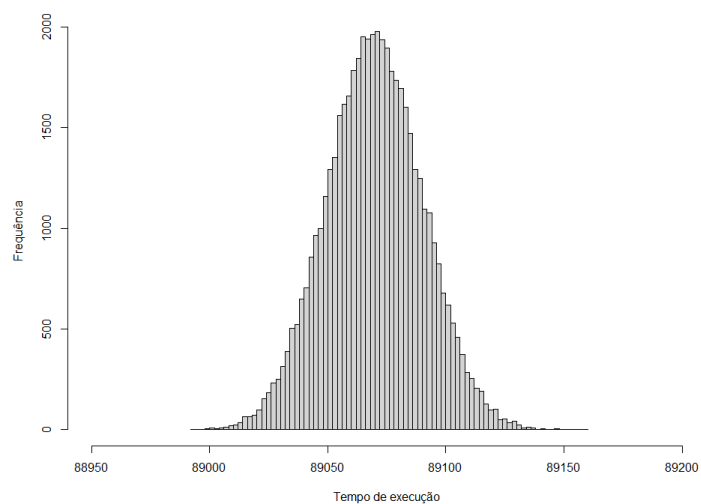
APÊNDICE B – RESULTADOS DO CENÁRIO 1

Resultados da aplicação do método, utilizando o algoritmo Bsort como tarefa de interesse.

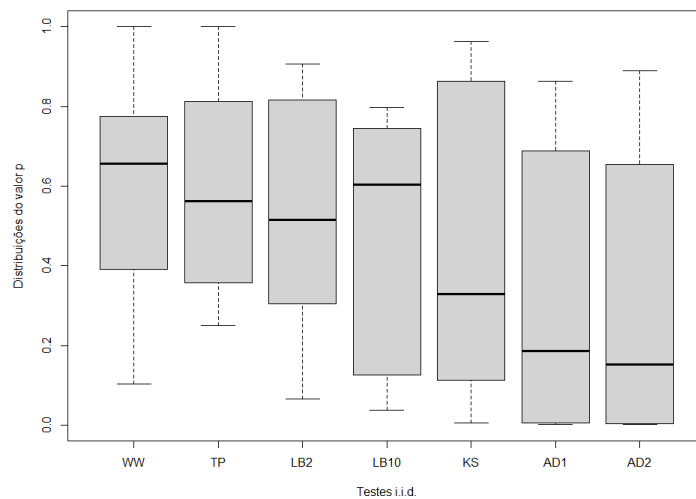
Figura 39 – Amostra 1 - Tarefa Bsort



a Amostra



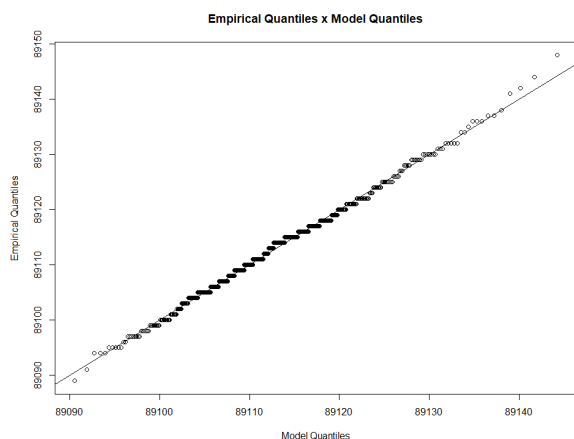
b Histograma



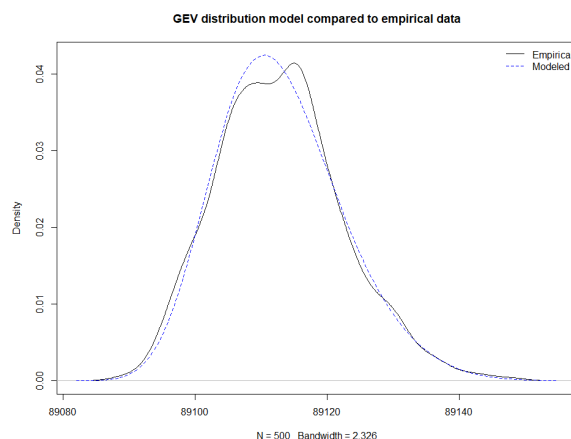
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

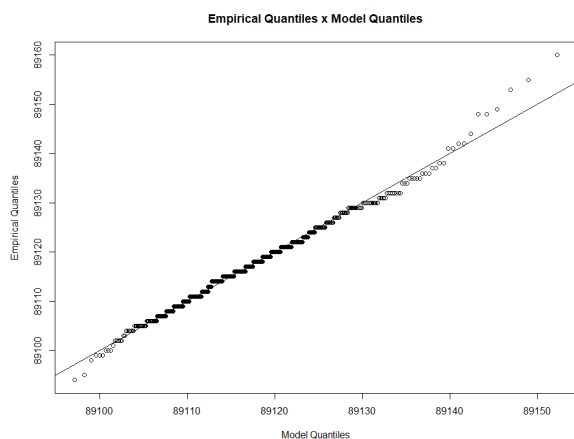
Figura 40 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 1 - Tarefa Bsort



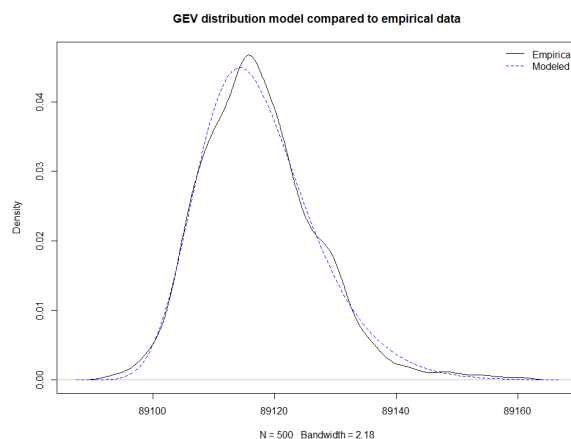
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



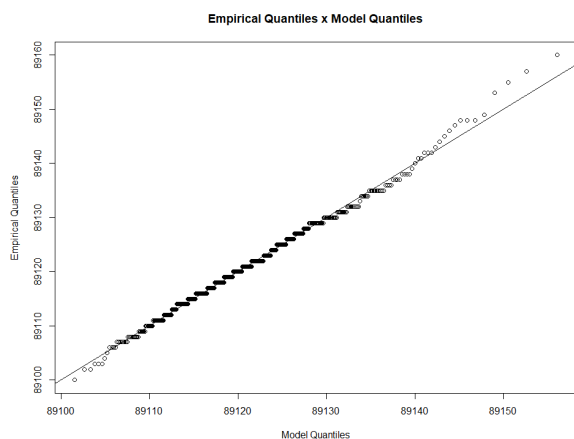
b Curva GEV com bloco 30



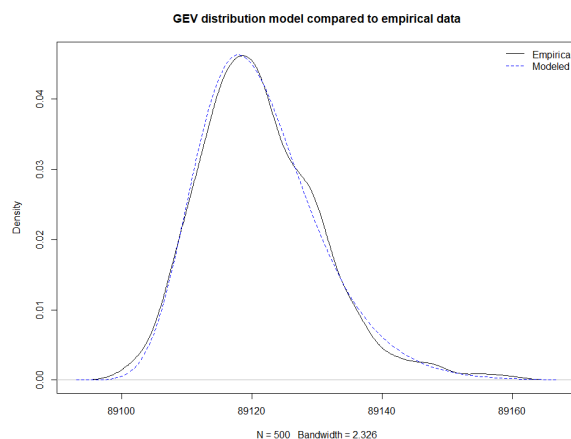
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



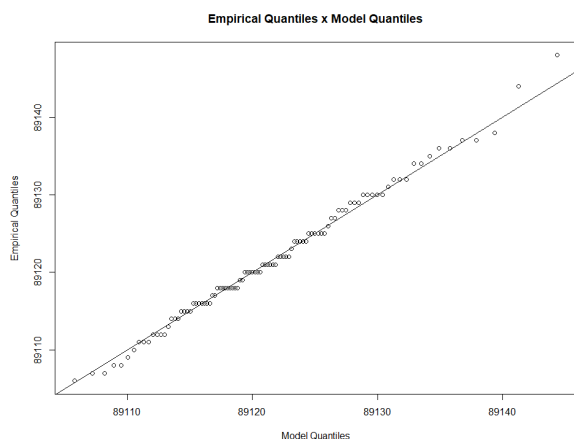
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



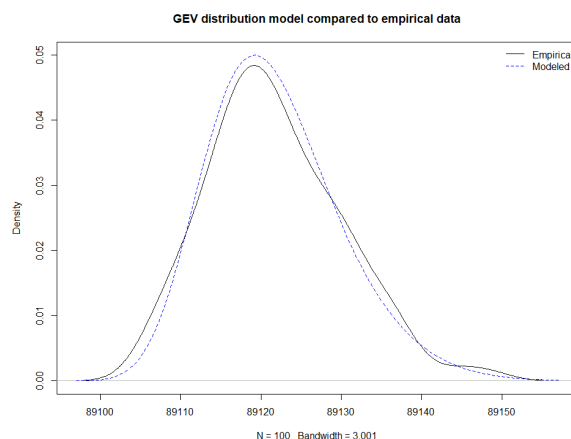
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

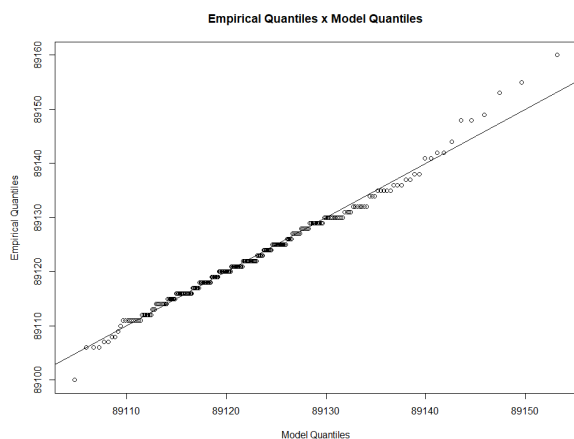
Figura 41 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 1 - Tarefa Bsort



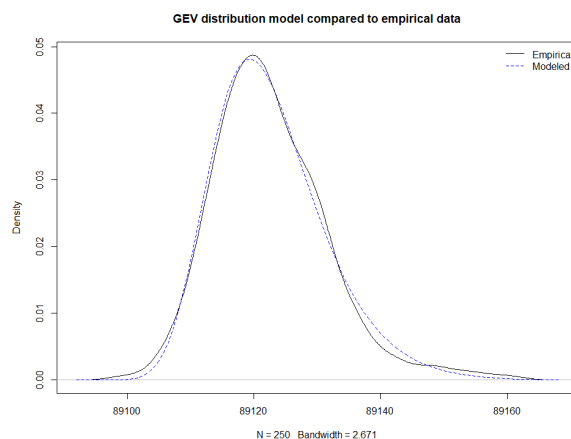
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



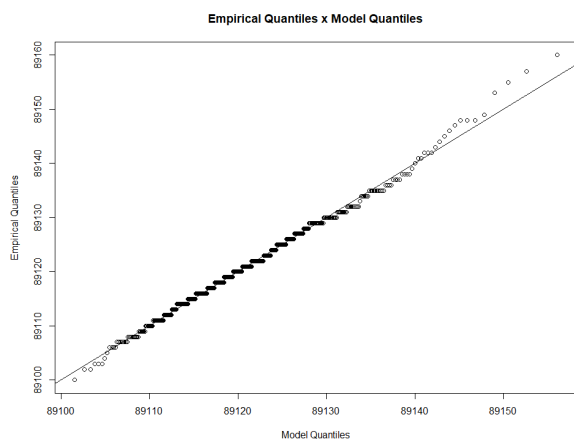
b Curva GEV com 100 blocos



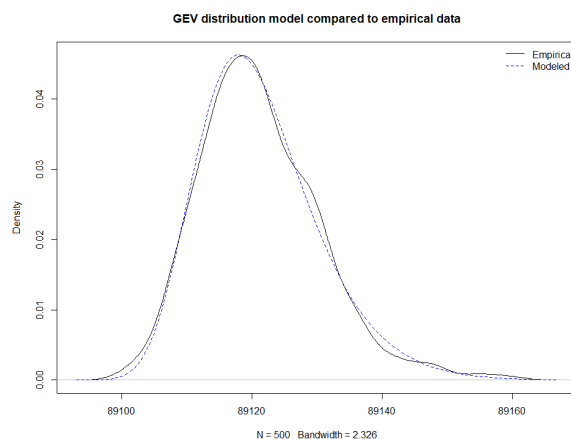
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 16 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88993 | 89056 | 89070 | 89070 | 89084 | 89160 | 20,39062 | 415,7776 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 17 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89108,1805 | 89109,0276 | 89109,8747 |
| | σ | 8,1854 | 8,7759 | 9,3664 |
| | ξ | -0,2053 | -0,1532 | -0,1012 |
| 50 | μ | 89112,7036 | 89113,4934 | 89114,2831 |
| | σ | 7,6822 | 8,2293 | 8,7764 |
| | ξ | -0,1416 | -0,0939 | -0,0461 |
| 100 | μ | 89116,4891 | 89117,2611 | 89118,0332 |
| | σ | 7,4375 | 7,9783 | 8,5190 |
| | ξ | -0,1356 | -0,0824 | -0,0293 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 18 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89147,4115 | 89156,4907 | 89165,5699 |
| | 10^{-6} | 89148,5388 | 89159,4087 | 89170,2787 |
| | 10^{-7} | 89149,0860 | 89161,4593 | 89173,8325 |
| | 10^{-8} | 89149,2990 | 89162,9002 | 89176,5015 |
| 50 | 10^{-5} | 89159,1746 | 89171,4149 | 89183,6552 |
| | 10^{-6} | 89161,6360 | 89177,1989 | 89192,7618 |
| | 10^{-7} | 89163,1056 | 89181,8587 | 89200,6118 |
| | 10^{-8} | 89163,8769 | 89185,6129 | 89207,3489 |
| 100 | 10^{-5} | 89162,2937 | 89176,5786 | 89190,8635 |
| | 10^{-6} | 89164,6080 | 89183,0556 | 89201,5032 |
| | 10^{-7} | 89165,8655 | 89188,4128 | 89210,9601 |
| | 10^{-8} | 89166,3632 | 89192,8438 | 89219,3244 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 19 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89116,6194 | 89118,2431 | 89119,8667 |
| | σ | 6,2709 | 7,4200 | 8,5691 |
| | ξ | -0,2572 | -0,1230 | 0,0112 |
| 250 | μ | 89117,7521 | 89118,7913 | 89119,8305 |
| | σ | 6,9479 | 7,6645 | 8,3811 |
| | ξ | -0,1457 | -0,0783 | -0,0109 |
| 500 | μ | 89116,4891 | 89117,2611 | 89118,0332 |
| | σ | 7,4375 | 7,9783 | 8,5190 |
| | ξ | -0,1356 | -0,0824 | -0,0293 |

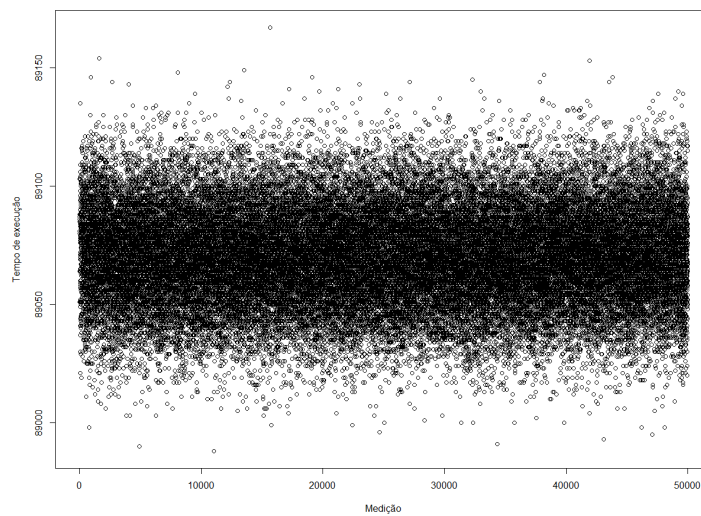
Fonte – Do Autor.

Tabela 20 – Amostra 1 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

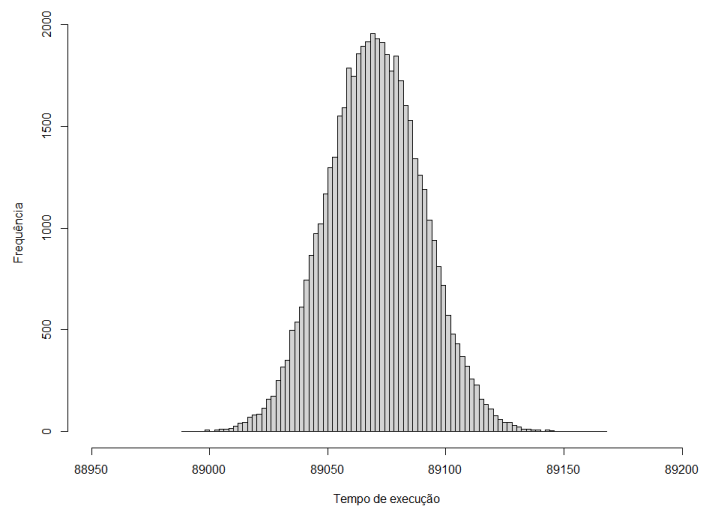
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89139,4028 | 89163,9298 | 89188,4569 |
| | 10^{-6} | 89137,2119 | 89167,5404 | 89197,8689 |
| | 10^{-7} | 89134,7209 | 89170,2604 | 89205,8000 |
| | 10^{-8} | 89132,2123 | 89172,3096 | 89212,4068 |
| 250 | 10^{-5} | 89158,7195 | 89176,9325 | 89195,1454 |
| | 10^{-6} | 89159,9201 | 89183,4869 | 89207,0537 |
| | 10^{-7} | 89160,0716 | 89188,9597 | 89217,8478 |
| | 10^{-8} | 89159,4889 | 89193,5295 | 89227,5701 |
| 500 | 10^{-5} | 89162,2937 | 89176,5786 | 89190,8635 |
| | 10^{-6} | 89164,6080 | 89183,0556 | 89201,5032 |
| | 10^{-7} | 89165,8655 | 89188,4128 | 89210,9601 |
| | 10^{-8} | 89166,3632 | 89192,8438 | 89219,3244 |

Fonte – Do Autor.

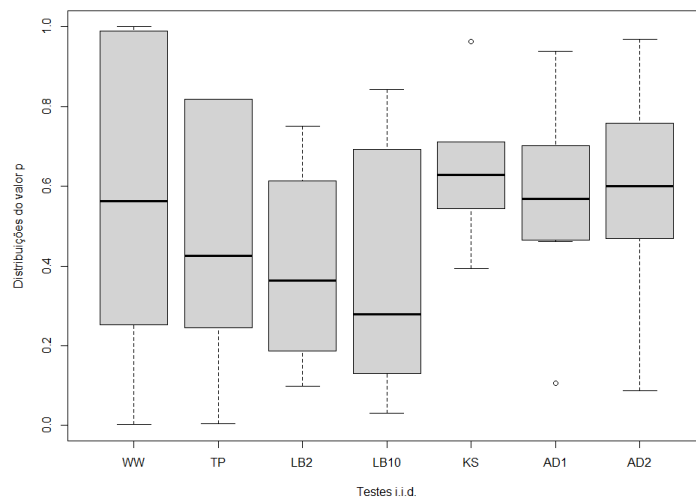
Figura 42 – Amostra 2 - Tarefa Bsort



a Amostra



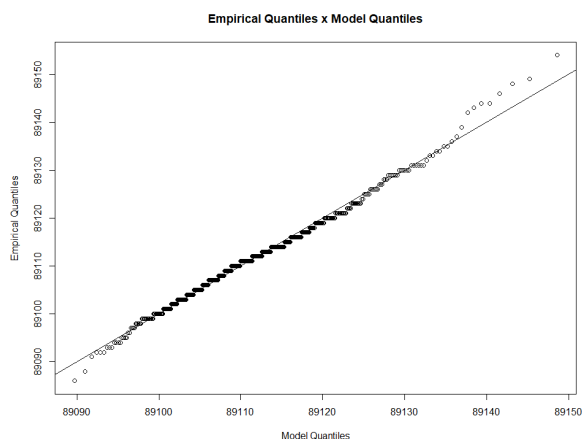
b Histograma



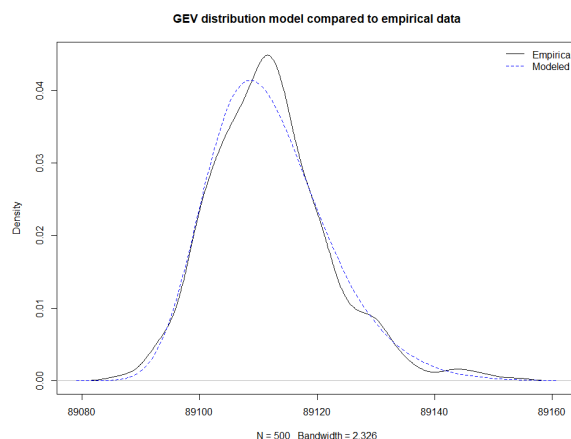
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

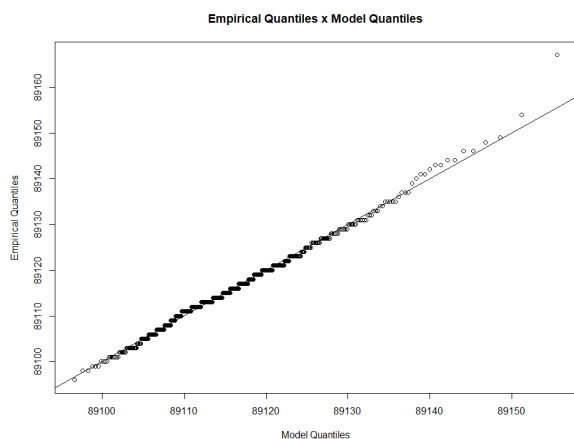
Figura 43 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 2 - Tarefa Bsort



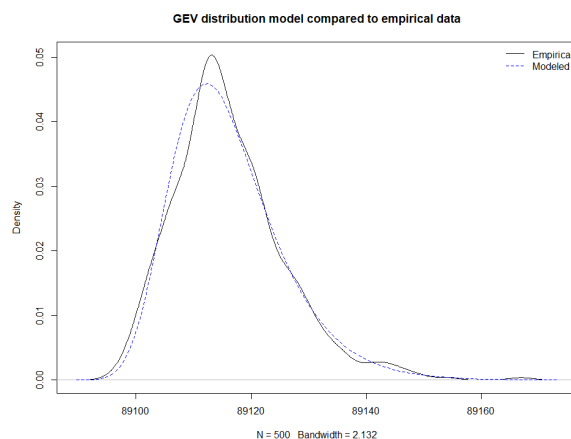
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



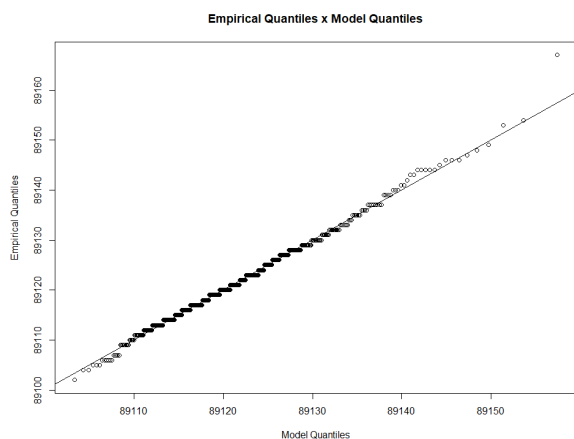
b Curva GEV com bloco 30



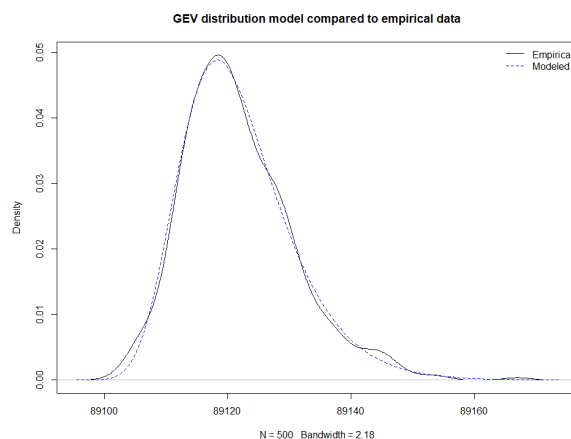
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



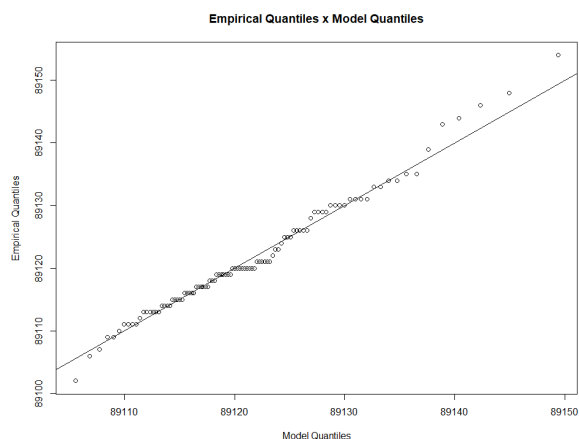
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



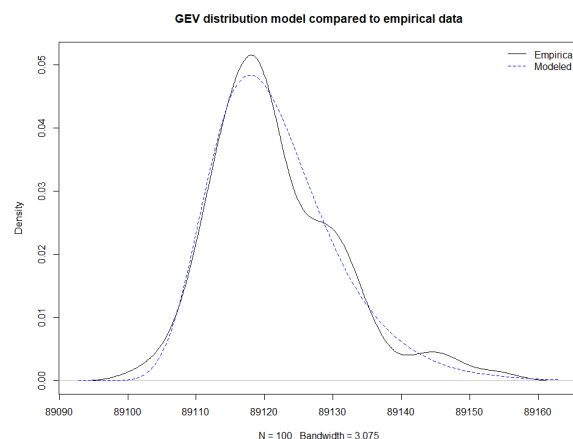
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

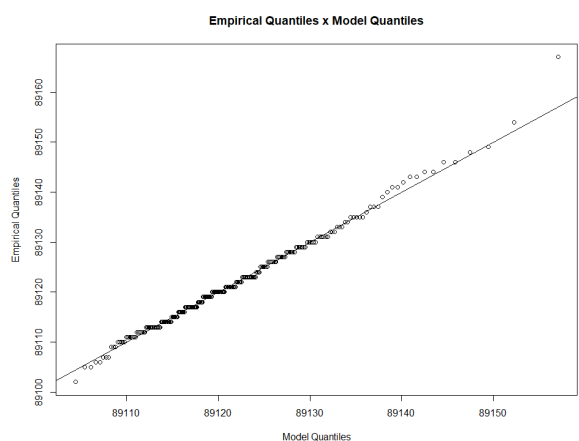
Figura 44 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 2 - Tarefa Bsort



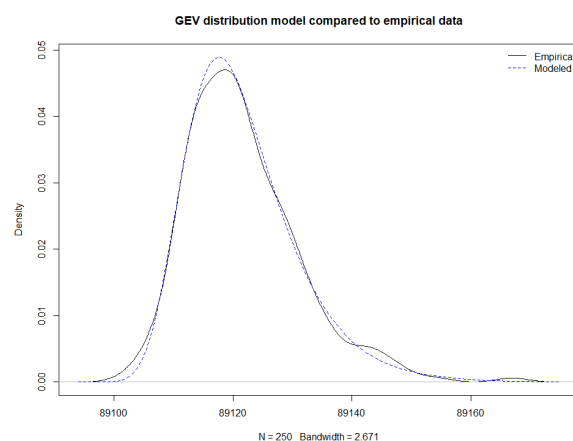
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



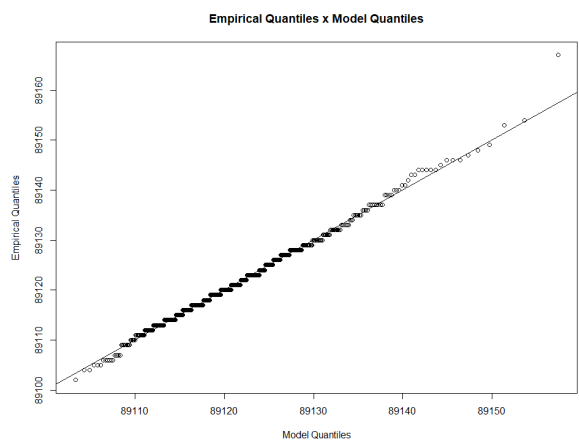
b Curva GEV com 100 blocos



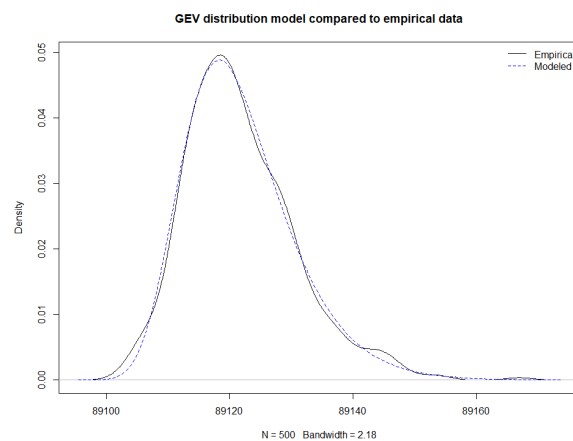
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 21 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88988 | 89057 | 89070 | 89070 | 89084 | 89167 | 20,27389 | 411,0307 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 22 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89106,8235 | 89107,6819 | 89108,5403 |
| | σ | 8,3475 | 8,9392 | 9,5308 |
| | ξ | -0,1526 | -0,1042 | -0,0558 |
| 50 | μ | 89111,0866 | 89111,8649 | 89112,6433 |
| | σ | 7,4642 | 8,0161 | 8,5680 |
| | ξ | -0,0986 | -0,0437 | 0,0111 |
| 100 | μ | 89117,0985 | 89117,8285 | 89118,5585 |
| | σ | 7,0219 | 7,5366 | 8,0512 |
| | ξ | -0,1101 | -0,0561 | -0,0021 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 23 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89155,1471 | 89167,6259 | 89180,1047 |
| | 10^{-6} | 89157,4595 | 89173,1406 | 89188,8217 |
| | 10^{-7} | 89158,7949 | 89177,4791 | 89196,1633 |
| | 10^{-8} | 89159,4657 | 89180,8922 | 89202,3188 |
| 50 | 10^{-5} | 89164,4703 | 89184,3847 | 89204,2991 |
| | 10^{-6} | 89167,9683 | 89195,0012 | 89222,0342 |
| | 10^{-7} | 89169,9155 | 89204,6013 | 89239,2871 |
| | 10^{-8} | 89170,5783 | 89213,2823 | 89255,9864 |
| 100 | 10^{-5} | 89164,9655 | 89181,7600 | 89198,5545 |
| | 10^{-6} | 89167,8818 | 89190,2979 | 89212,7139 |
| | 10^{-7} | 89169,5097 | 89197,8017 | 89226,0938 |
| | 10^{-8} | 89170,1195 | 89204,3968 | 89238,6742 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 24 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89115,9432 | 89117,5912 | 89119,2392 |
| | σ | 6,4527 | 7,6109 | 8,7691 |
| | ξ | -0,1667 | -0,0437 | 0,0793 |
| 250 | μ | 89116,4446 | 89117,4783 | 89118,5119 |
| | σ | 6,7829 | 7,5202 | 8,2574 |
| | ξ | -0,0975 | -0,0177 | 0,0621 |
| 500 | μ | 89117,0985 | 89117,8285 | 89118,5585 |
| | σ | 7,0219 | 7,5366 | 8,0512 |
| | ξ | -0,1101 | -0,0561 | -0,0021 |

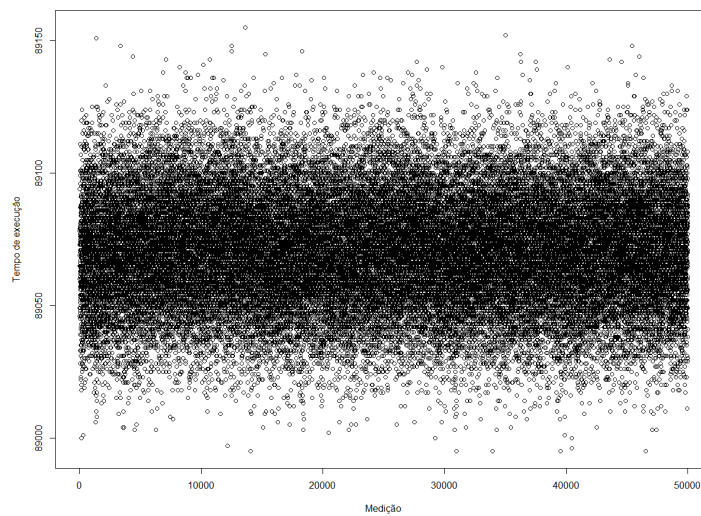
Fonte – Do Autor.

Tabela 25 – Amostra 2 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

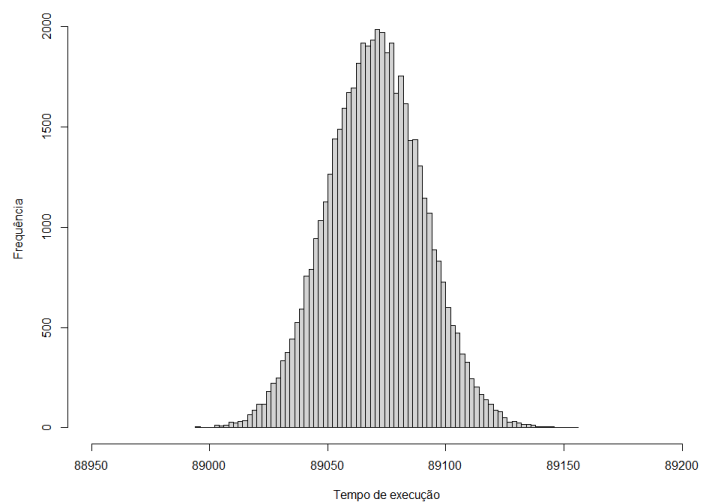
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89143,6937 | 89186,4533 | 89229,2130 |
| | 10^{-6} | 89138,5574 | 89196,5361 | 89254,5148 |
| | 10^{-7} | 89131,3234 | 89205,6540 | 89279,9845 |
| | 10^{-8} | 89122,4428 | 89213,8994 | 89305,3559 |
| 250 | 10^{-5} | 89162,3798 | 89195,7934 | 89229,2070 |
| | 10^{-6} | 89162,6129 | 89209,6281 | 89256,6432 |
| | 10^{-7} | 89160,3906 | 89222,9093 | 89285,4281 |
| | 10^{-8} | 89155,9110 | 89235,6594 | 89315,4078 |
| 500 | 10^{-5} | 89164,9655 | 89181,7600 | 89198,5545 |
| | 10^{-6} | 89167,8818 | 89190,2979 | 89212,7139 |
| | 10^{-7} | 89169,5097 | 89197,8017 | 89226,0938 |
| | 10^{-8} | 89170,1195 | 89204,3968 | 89238,6742 |

Fonte – Do Autor.

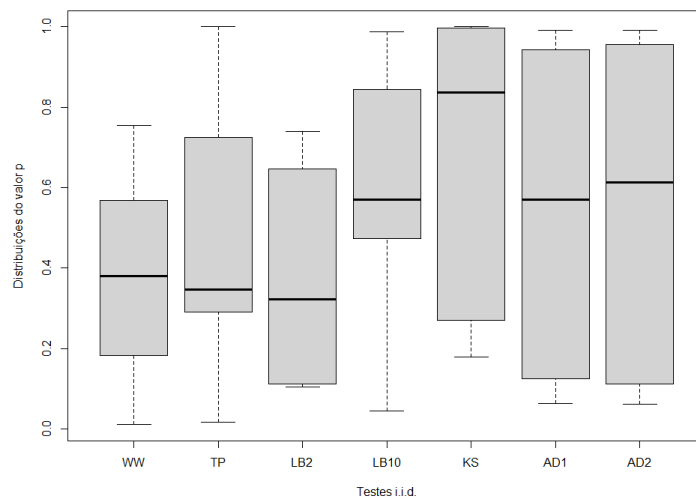
Figura 45 – Amostra 3 - Tarefa Bsort



a Amostra



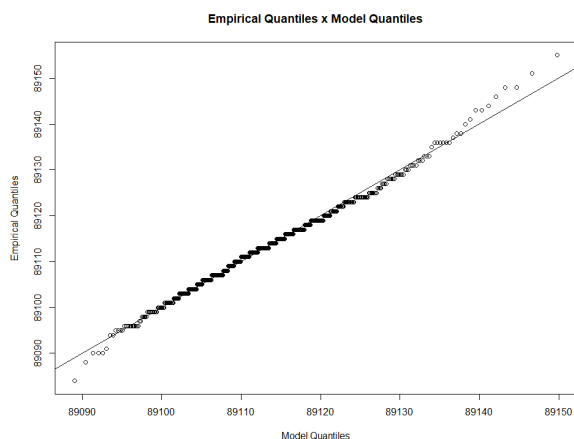
b Histograma



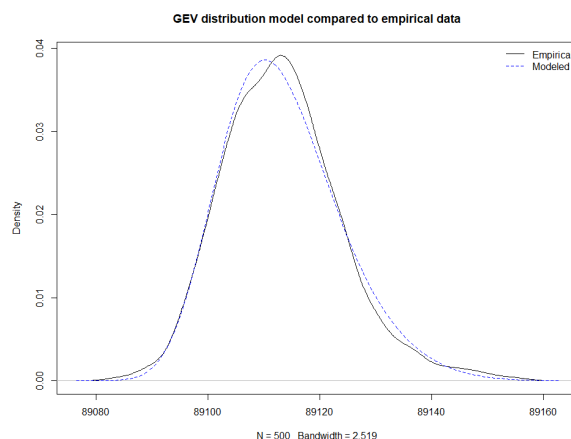
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

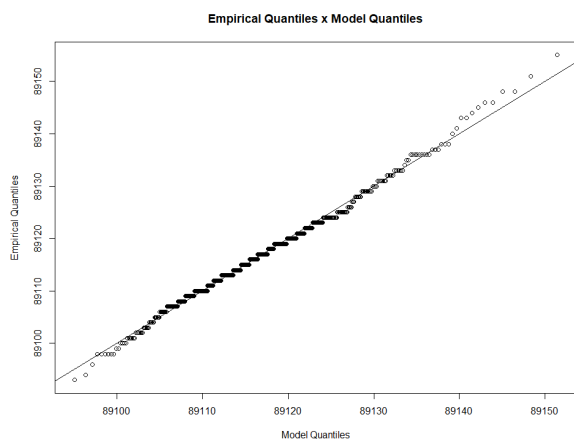
Figura 46 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 3 - Tarefa Bsort



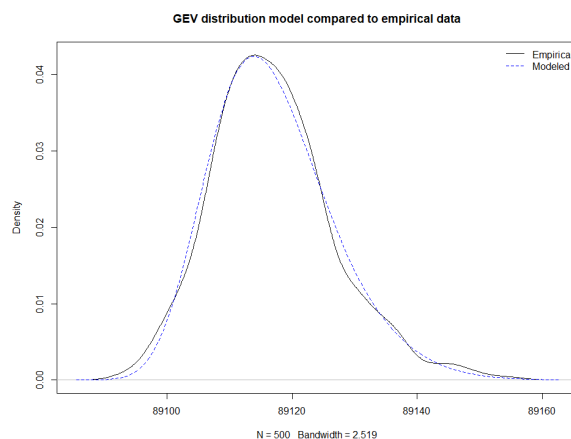
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



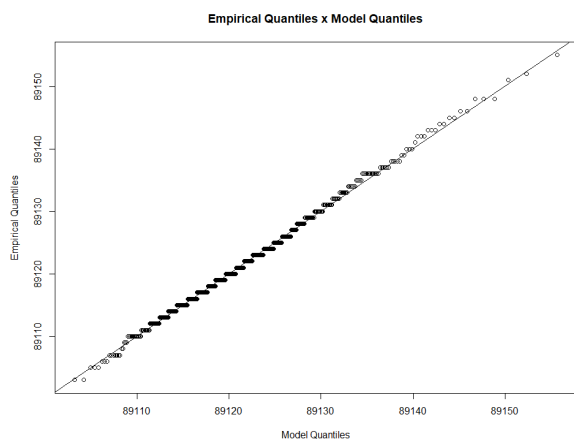
b Curva GEV com bloco 30



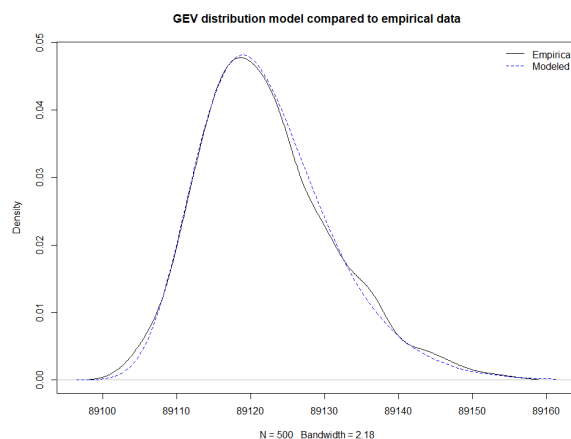
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



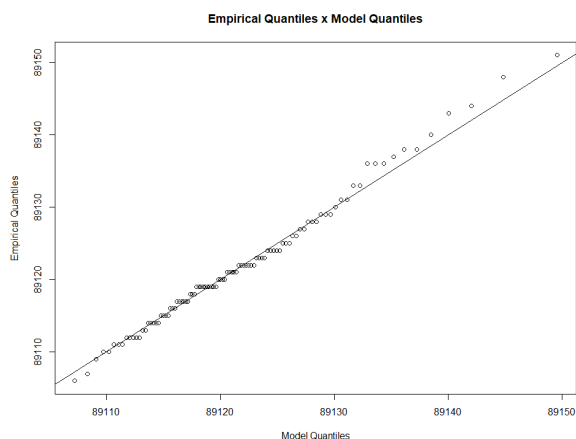
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



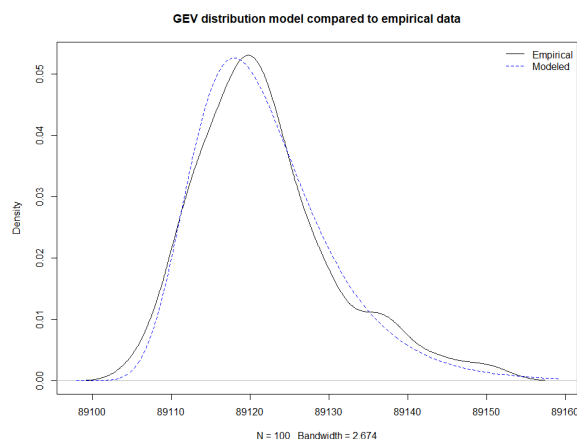
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

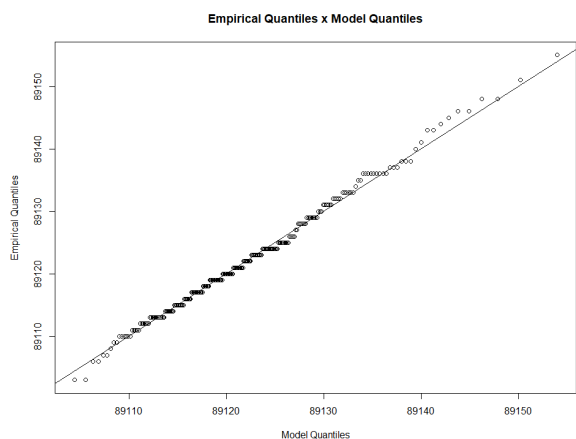
Figura 47 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 3 - Tarefa Bsort



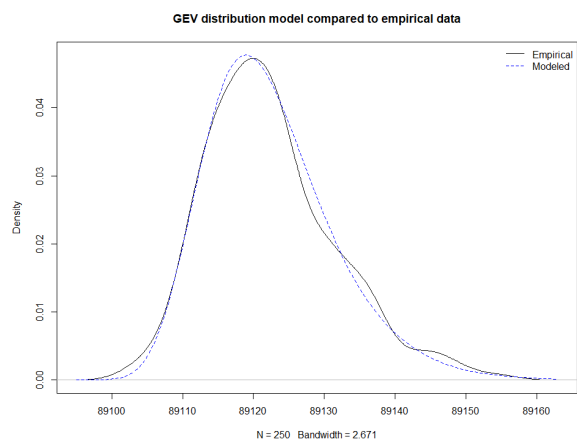
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



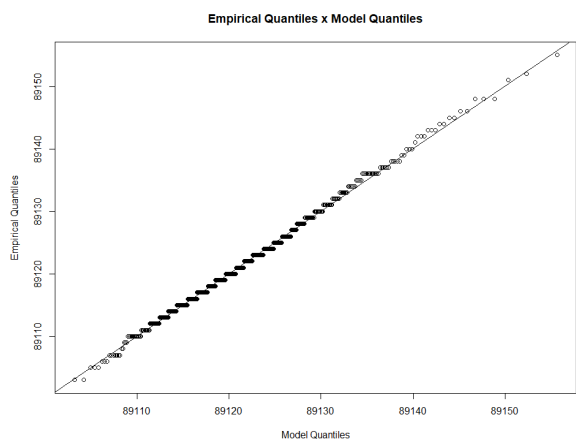
b Curva GEV com 100 blocos



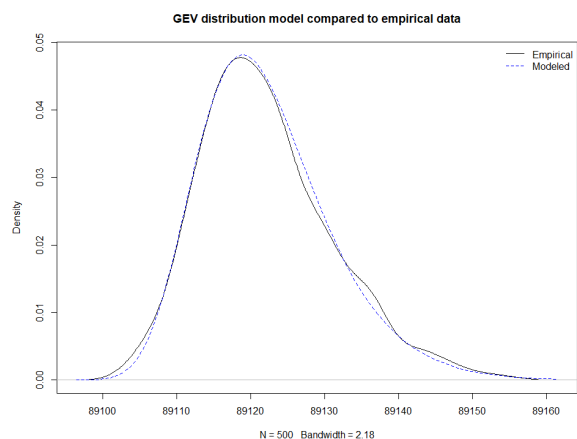
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 26 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88995 | 89057 | 89071 | 89071 | 89084 | 89155 | 20,36963 | 414,9217 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 27 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89107,9324 | 89108,8539 | 89109,7755 |
| | σ | 8,9844 | 9,6169 | 10,2493 |
| | ξ | -0,1780 | -0,1308 | -0,0837 |
| 50 | μ | 89112,0046 | 89112,8477 | 89113,6907 |
| | σ | 8,1652 | 8,7483 | 9,3314 |
| | ξ | -0,1687 | -0,1178 | -0,0669 |
| 100 | μ | 89117,5489 | 89118,2993 | 89119,0498 |
| | σ | 7,1375 | 7,6688 | 8,2002 |
| | ξ | -0,1422 | -0,0819 | -0,0216 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 28 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89155,3275 | 89166,0591 | 89176,7907 |
| | 10^{-6} | 89157,1954 | 89170,2983 | 89183,4012 |
| | 10^{-7} | 89158,2373 | 89173,4348 | 89188,6323 |
| | 10^{-8} | 89158,7573 | 89175,7555 | 89192,7536 |
| 50 | 10^{-5} | 89156,4092 | 89167,9738 | 89179,5384 |
| | 10^{-6} | 89158,1857 | 89172,5181 | 89186,8504 |
| | 10^{-7} | 89159,1339 | 89175,9825 | 89192,8312 |
| | 10^{-8} | 89159,5477 | 89178,6239 | 89197,7000 |
| 100 | 10^{-5} | 89159,9268 | 89175,4624 | 89190,9980 |
| | 10^{-6} | 89161,6128 | 89181,7298 | 89201,8469 |
| | 10^{-7} | 89162,2871 | 89186,92 | 89211,5529 |
| | 10^{-8} | 89162,2484 | 89191,218 | 89220,1876 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 29 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89116,4069 | 89117,9429 | 89119,4789 |
| | σ | 5,8735 | 6,9812 | 8,0889 |
| | ξ | -0,1502 | -0,0082 | 0,1338 |
| 250 | μ | 89117,3565 | 89118,4231 | 89119,4896 |
| | σ | 6,9713 | 7,7252 | 8,4792 |
| | ξ | -0,1521 | -0,0684 | 0,0153 |
| 500 | μ | 89117,5489 | 89118,2993 | 89119,0498 |
| | σ | 7,1375 | 7,6688 | 8,2002 |
| | ξ | -0,1422 | -0,0819 | -0,0216 |

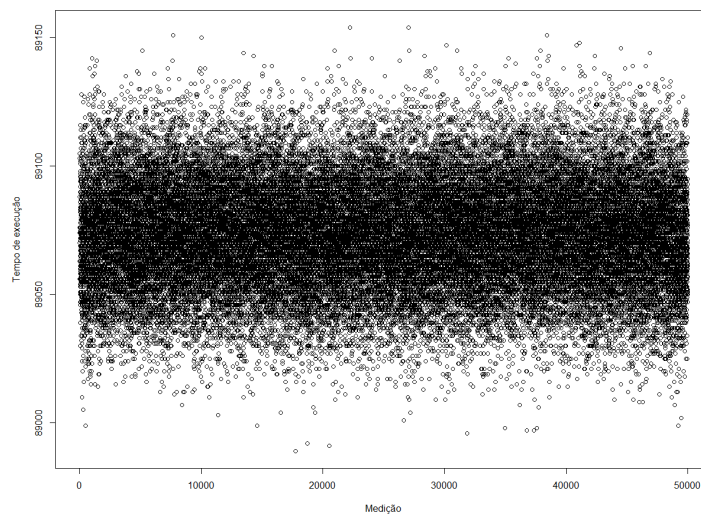
Fonte – Do Autor.

Tabela 30 – Amostra 3 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

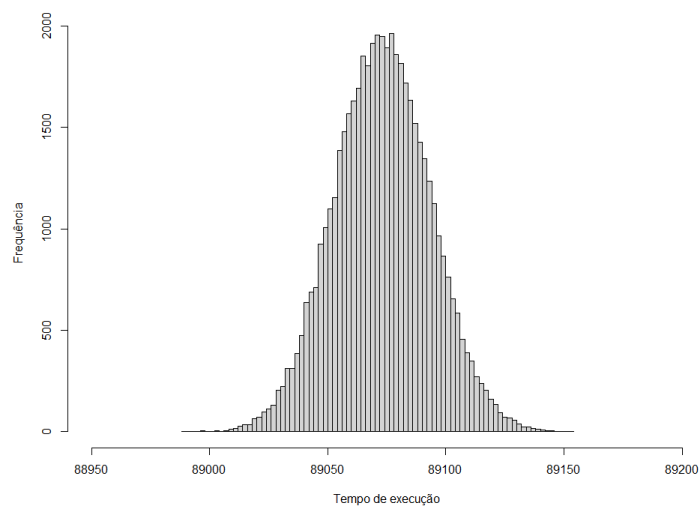
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89135,6655 | 89194,6456 | 89253,6256 |
| | 10^{-6} | 89124,7978 | 89209,1376 | 89293,4774 |
| | 10^{-7} | 89109,4747 | 89223,359 | 89337,2433 |
| | 10^{-8} | 89089,8699 | 89237,3149 | 89384,7598 |
| 250 | 10^{-5} | 89155,8149 | 89179,9783 | 89204,1417 |
| | 10^{-6} | 89155,6715 | 89187,4666 | 89219,2618 |
| | 10^{-7} | 89154,3129 | 89193,8638 | 89233,4147 |
| | 10^{-8} | 89152,0976 | 89199,3287 | 89246,5599 |
| 500 | 10^{-5} | 89159,9268 | 89175,4624 | 89190,9980 |
| | 10^{-6} | 89161,6128 | 89181,7298 | 89201,8469 |
| | 10^{-7} | 89162,2871 | 89186,92 | 89211,5529 |
| | 10^{-8} | 89162,2484 | 89191,218 | 89220,1876 |

Fonte – Do Autor.

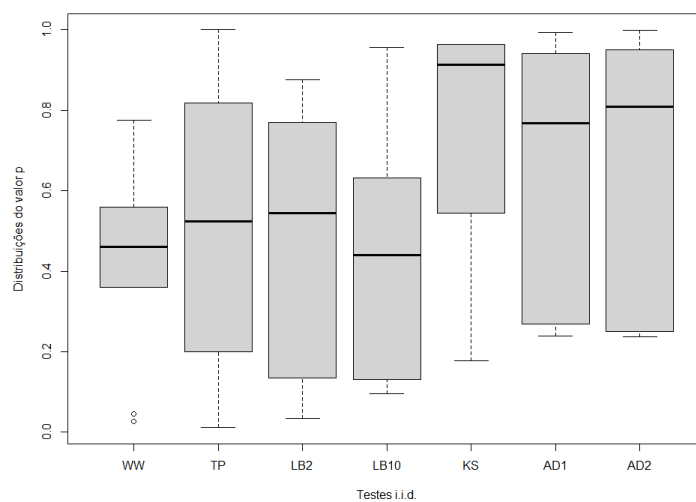
Figura 48 – Amostra 4 - Tarefa Bsort



a Amostra



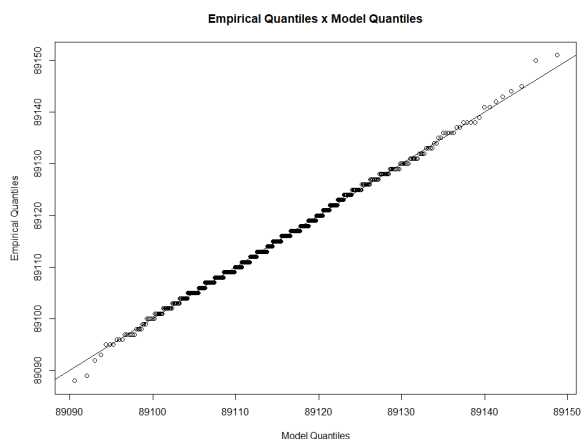
b Histograma



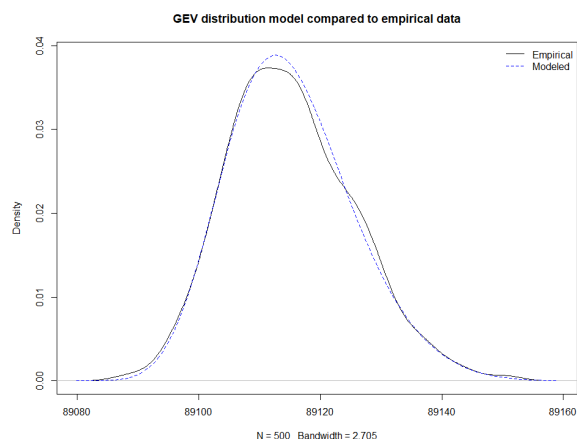
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

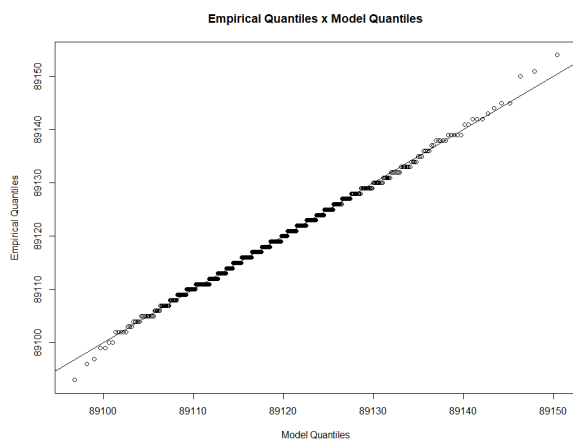
Figura 49 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 4 - Tarefa Bsort



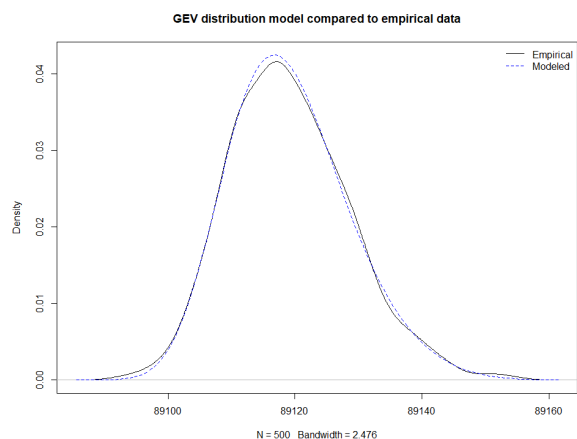
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



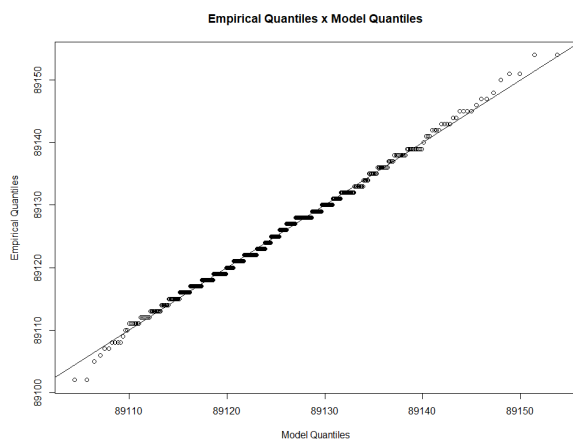
b Curva GEV com bloco 30



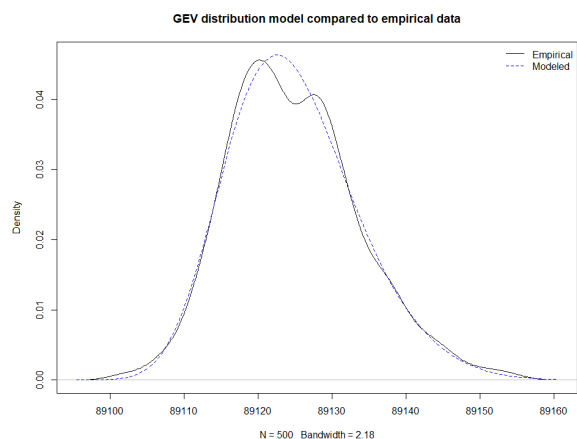
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



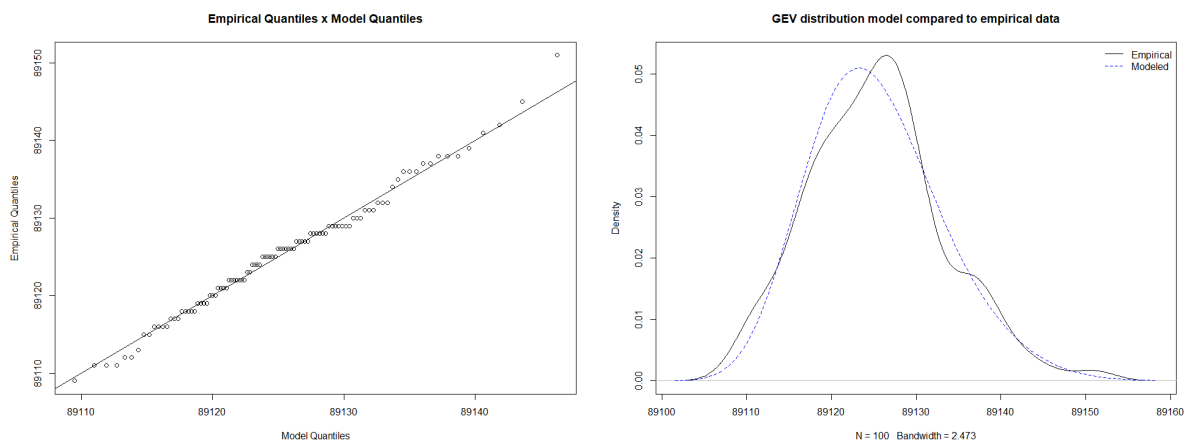
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



f Curva GEV com bloco 100

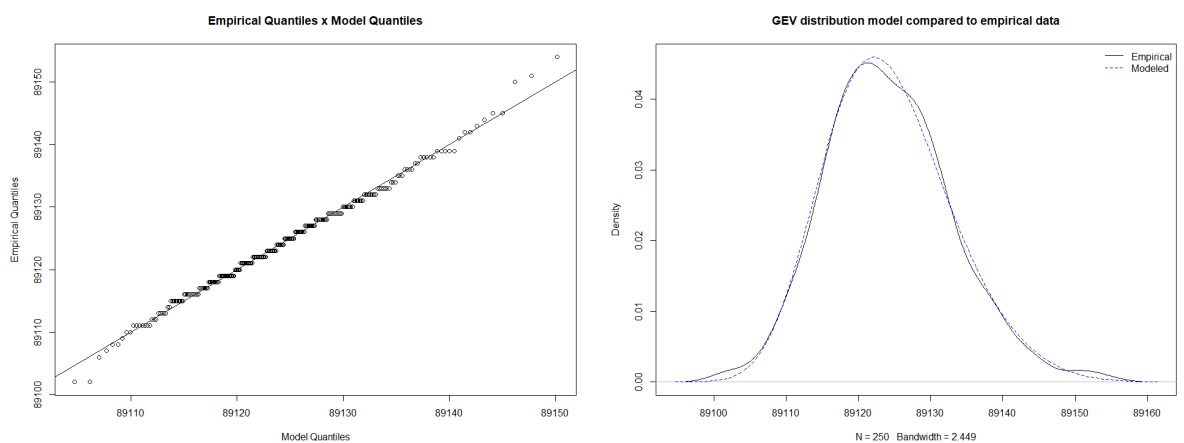
Fonte – Do Autor.

Figura 50 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 4 - Tarefa Bsort



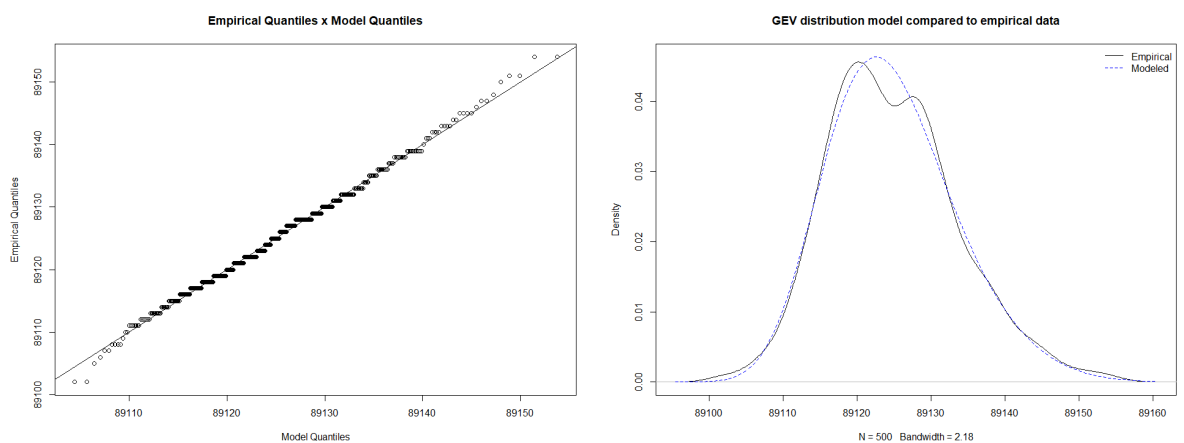
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos

b Curva GEV com 100 blocos



c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos

d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos

f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 31 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88989 | 89060 | 89073 | 89074 | 89087 | 89154 | 20,38297 | 415,4656 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 32 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89110,0471 | 89110,9742 | 89111,9012 |
| | σ | 8,9564 | 9,6019 | 10,2474 |
| | ξ | -0,2138 | -0,161 | -0,1082 |
| 50 | μ | 89114,4229 | 89115,2660 | 89116,1091 |
| | σ | 8,1866 | 8,7698 | 9,3530 |
| | ξ | -0,2035 | -0,1537 | -0,1038 |
| 100 | μ | 89120,4997 | 89121,276 | 89122,0522 |
| | σ | 7,4984 | 8,0369 | 8,5753 |
| | ξ | -0,2033 | -0,1501 | -0,0970 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 33 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89151,7185 | 89161,2695 | 89170,8205 |
| | 10^{-6} | 89152,8127 | 89164,1639 | 89175,5152 |
| | 10^{-7} | 89153,3261 | 89166,1618 | 89178,9975 |
| | 10^{-8} | 89153,5140 | 89167,5408 | 89181,5676 |
| 50 | 10^{-5} | 89153,8946 | 89162,6048 | 89171,3150 |
| | 10^{-6} | 89155,0914 | 89165,5037 | 89175,9161 |
| | 10^{-7} | 89155,6987 | 89167,5387 | 89179,3787 |
| | 10^{-8} | 89155,9622 | 89168,9672 | 89181,9722 |
| 100 | 10^{-5} | 89156,5754 | 89165,3071 | 89174,0388 |
| | 10^{-6} | 89157,6050 | 89168,0859 | 89178,5668 |
| | 10^{-7} | 89158,0938 | 89170,0527 | 89182,0116 |
| | 10^{-8} | 89158,2704 | 89171,4447 | 89184,6190 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 34 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste ((N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89120,4858 | 89122,0655 | 89123,6452 |
| | σ | 6,2104 | 7,3100 | 8,4095 |
| | ξ | -0,2704 | -0,1530 | -0,0355 |
| 250 | μ | 89119,6270 | 89120,7276 | 89121,8282 |
| | σ | 7,3692 | 8,1241 | 8,8789 |
| | ξ | -0,2328 | -0,1656 | -0,0984 |
| 500 | μ | 89120,4997 | 89121,2760 | 89122,0522 |
| | σ | 7,4984 | 8,0369 | 8,5753 |
| | ξ | -0,2033 | -0,1501 | -0,0970 |

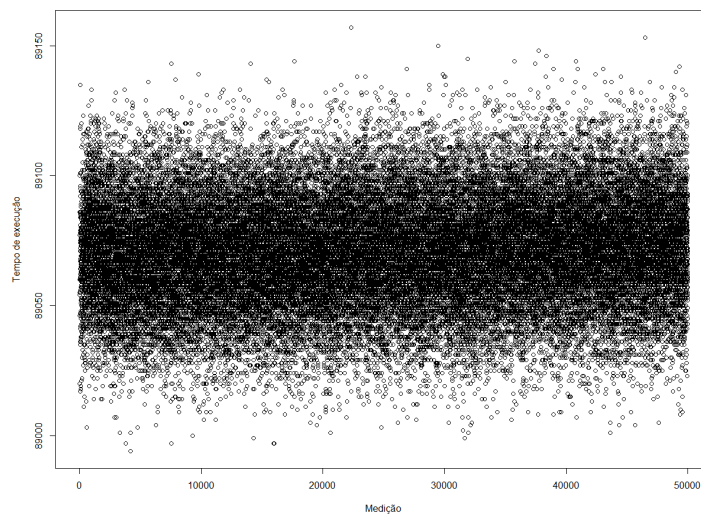
Fonte – Do Autor.

Tabela 35 – Amostra 4 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

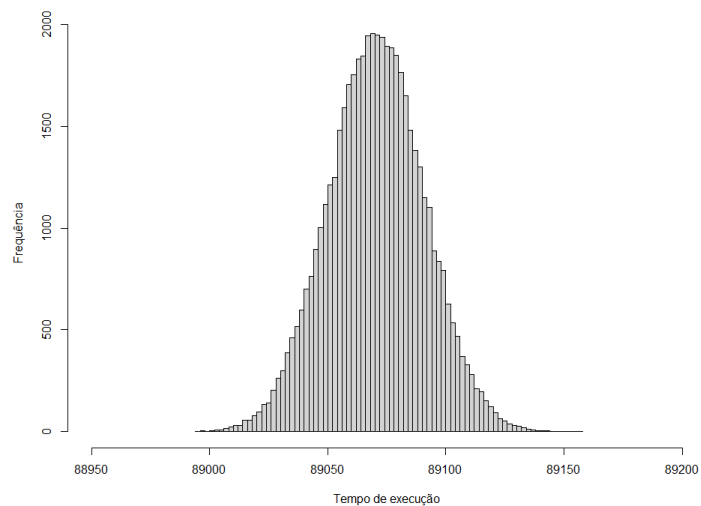
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89144,5377 | 89161,6410 | 89178,7442 |
| | 10^{-6} | 89143,5957 | 89164,0791 | 89184,5626 |
| | 10^{-7} | 89142,4710 | 89165,7935 | 89189,1159 |
| | 10^{-8} | 89141,3563 | 89166,9989 | 89192,6415 |
| 250 | 10^{-5} | 89152,4812 | 89162,4930 | 89172,5047 |
| | 10^{-6} | 89152,9767 | 89164,8035 | 89176,6303 |
| | 10^{-7} | 89153,0725 | 89166,3815 | 89179,6904 |
| | 10^{-8} | 89152,9729 | 89167,4591 | 89181,9453 |
| 500 | 10^{-5} | 89156,5754 | 89165,3071 | 89174,0388 |
| | 10^{-6} | 89157,6050 | 89168,0859 | 89178,5668 |
| | 10^{-7} | 89158,0938 | 89170,0527 | 89182,0116 |
| | 10^{-8} | 89158,2704 | 89171,4447 | 89184,6190 |

Fonte – Do Autor.

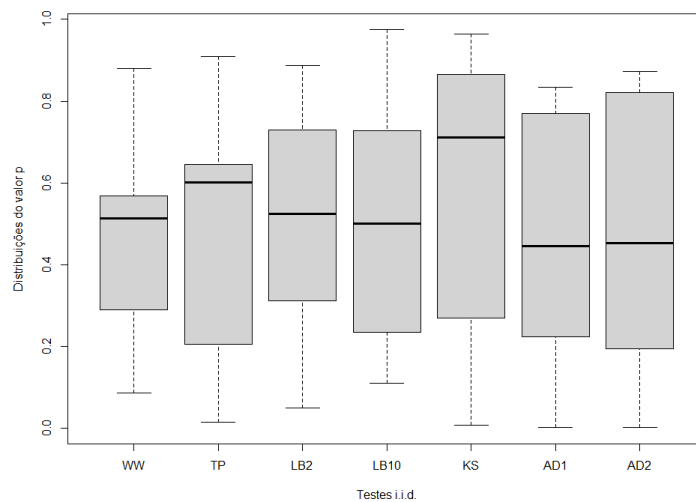
Figura 51 – Amostra 5 - Tarefa Bsort



a Amostra



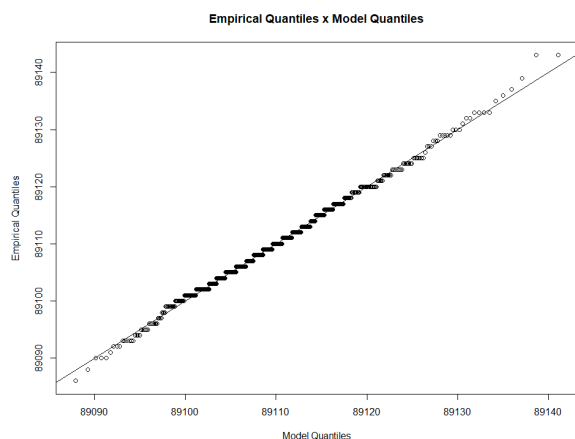
b Histograma



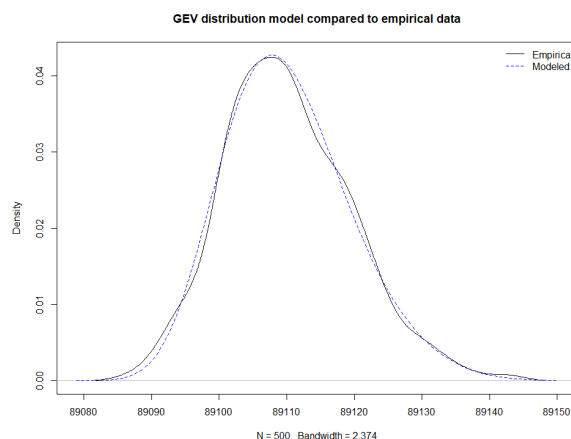
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

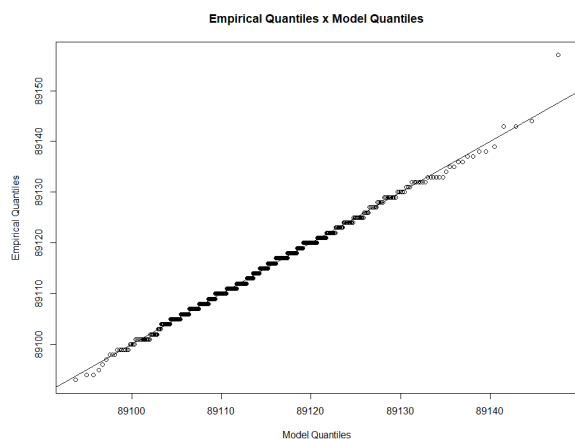
Figura 52 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 5 - Tarefa Bsort



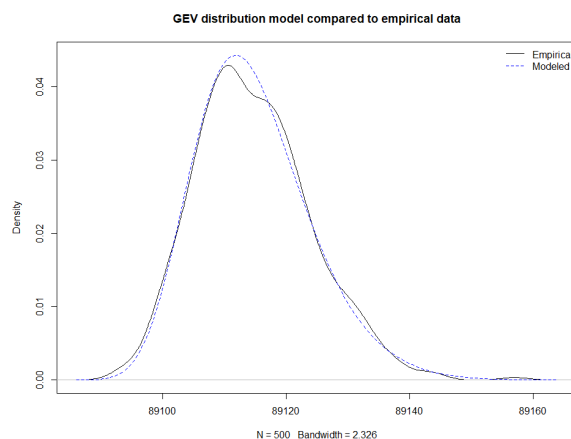
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



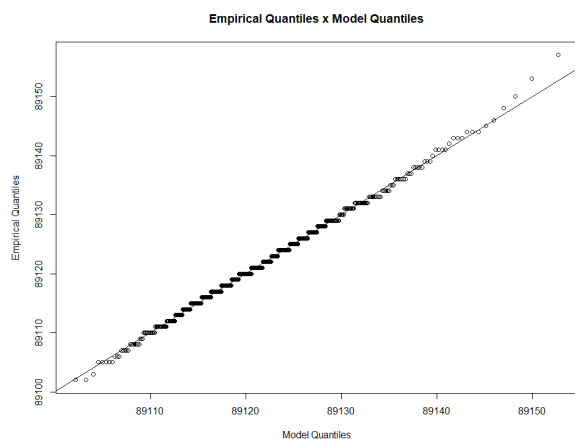
b Curva GEV com bloco 30



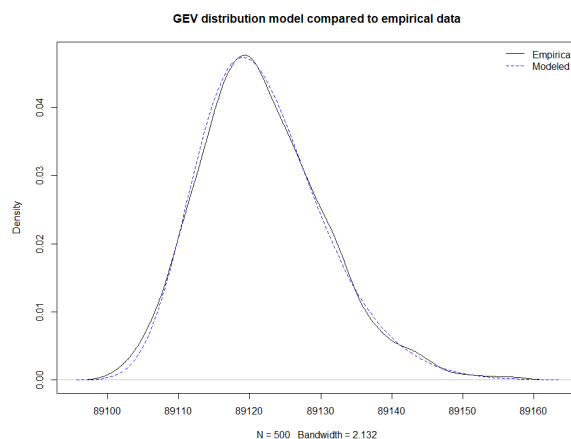
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



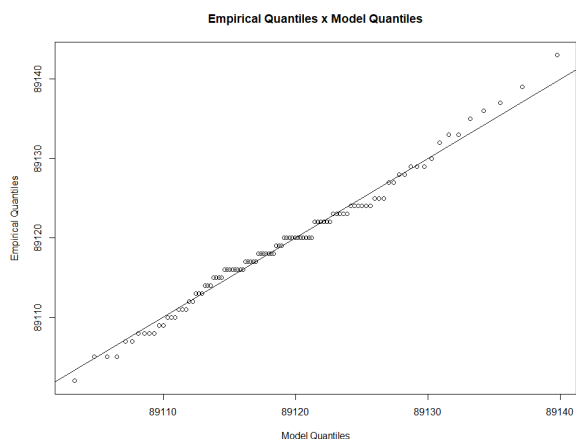
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



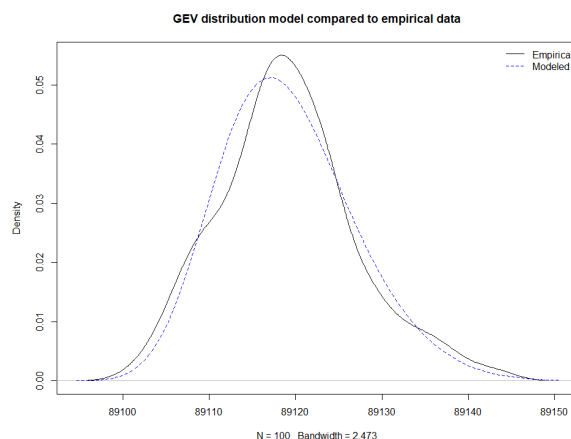
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

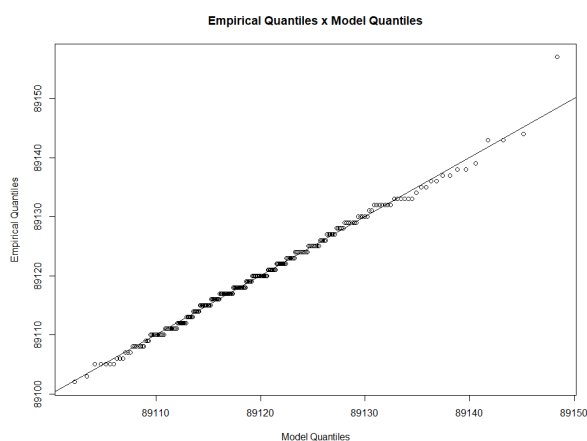
Figura 53 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 5 - Tarefa Bsort



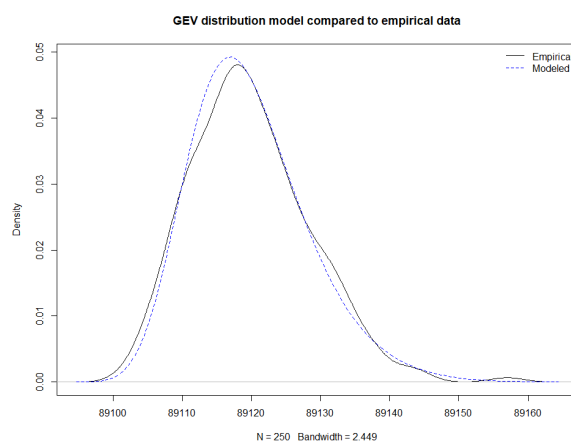
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



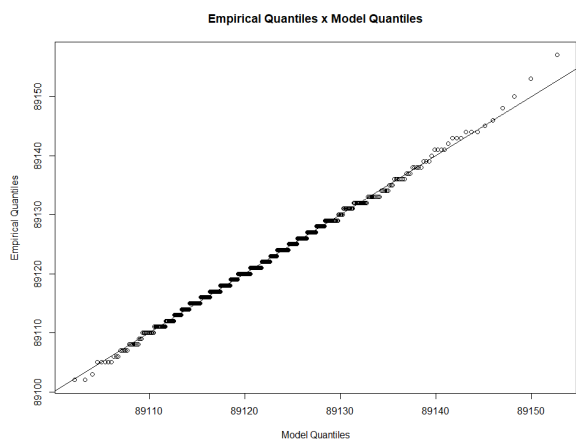
b Curva GEV com 100 blocos



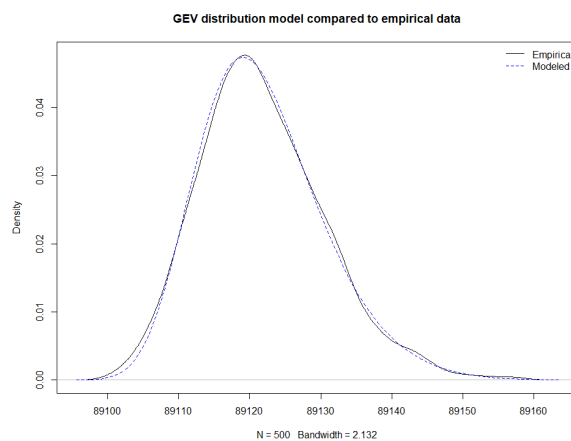
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 36 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88994 | 89057 | 89071 | 89071 | 89085 | 89157 | 20,37273 | 415,0483 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 37 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89105,4953 | 89106,3362 | 89107,1772 |
| | σ | 8,1430 | 8,7263 | 9,3097 |
| | ξ | -0,2075 | -0,1561 | -0,1047 |
| 50 | μ | 89109,9741 | 89110,7787 | 89111,5833 |
| | σ | 7,8022 | 8,3654 | 8,9286 |
| | ξ | -0,1681 | -0,1187 | -0,0693 |
| 100 | μ | 89117,3624 | 89118,1200 | 89118,8775 |
| | σ | 7,2989 | 7,8287 | 8,3584 |
| | ξ | -0,1705 | -0,1172 | -0,0638 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 38 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89144,2145 | 89152,9744 | 89161,7344 |
| | 10^{-6} | 89145,3189 | 89155,7729 | 89166,2269 |
| | 10^{-7} | 89145,8597 | 89157,7265 | 89169,5932 |
| | 10^{-8} | 89146,0771 | 89159,0902 | 89172,1034 |
| 50 | 10^{-5} | 89152,7028 | 89163,2795 | 89173,8563 |
| | 10^{-6} | 89154,4750 | 89167,5758 | 89180,6766 |
| | 10^{-7} | 89155,4516 | 89170,8445 | 89186,2374 |
| | 10^{-8} | 89155,9125 | 89173,3314 | 89190,7503 |
| 100 | 10^{-5} | 89156,7768 | 89167,5993 | 89178,4218 |
| | 10^{-6} | 89158,2605 | 89171,7001 | 89185,1397 |
| | 10^{-7} | 89159,0086 | 89174,8314 | 89190,6542 |
| | 10^{-8} | 89159,2866 | 89177,2223 | 89195,1580 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 39 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89114,2853 | 89115,8601 | 89117,4349 |
| | σ | 6,1786 | 7,2717 | 8,3647 |
| | ξ | -0,2773 | -0,1561 | -0,0350 |
| 250 | μ | 89115,1084 | 89116,1378 | 89117,1673 |
| | σ | 6,7810 | 7,5088 | 8,2365 |
| | ξ | -0,1718 | -0,0957 | -0,0196 |
| 500 | μ | 89117,3624 | 89118,1200 | 89118,8775 |
| | σ | 7,2989 | 7,8287 | 8,3584 |
| | ξ | -0,1705 | -0,1172 | -0,0638 |

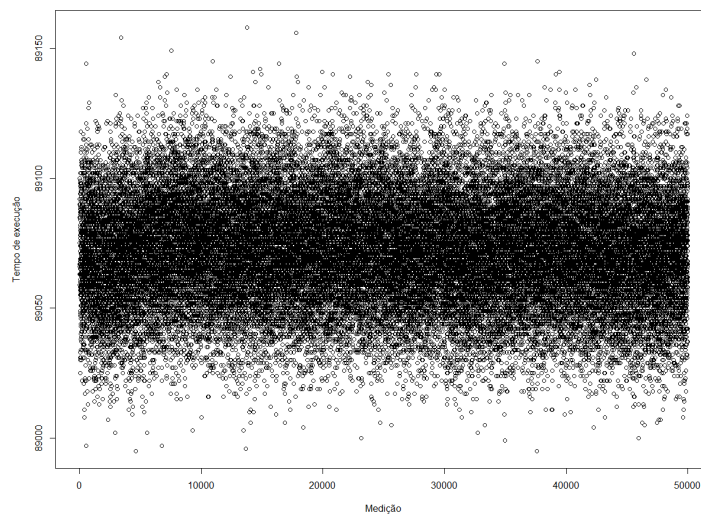
Fonte – Do Autor.

Tabela 40 – Amostra 5 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

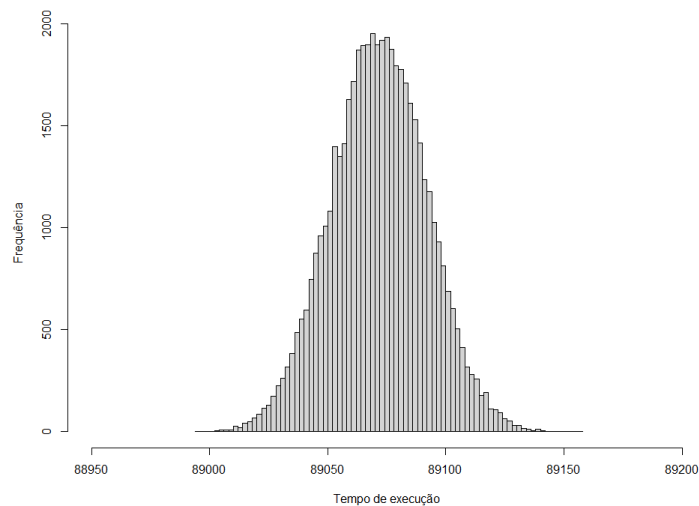
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89137,5237 | 89154,7137 | 89171,9037 |
| | 10^{-6} | 89136,5165 | 89157,0438 | 89177,571 |
| | 10^{-7} | 89135,3616 | 89158,6702 | 89181,9787 |
| | 10^{-8} | 89134,2409 | 89159,8054 | 89185,3698 |
| 250 | 10^{-5} | 89151,2323 | 89168,5324 | 89185,8326 |
| | 10^{-6} | 89151,6705 | 89173,6895 | 89195,7085 |
| | 10^{-7} | 89151,2957 | 89177,8269 | 89204,3580 |
| | 10^{-8} | 89150,4132 | 89181,1461 | 89211,8789 |
| 500 | 10^{-5} | 89156,7768 | 89167,5993 | 89178,4218 |
| | 10^{-6} | 89158,2605 | 89171,7001 | 89185,1397 |
| | 10^{-7} | 89159,0086 | 89174,8314 | 89190,6542 |
| | 10^{-8} | 89159,2866 | 89177,2223 | 89195,1580 |

Fonte – Do Autor.

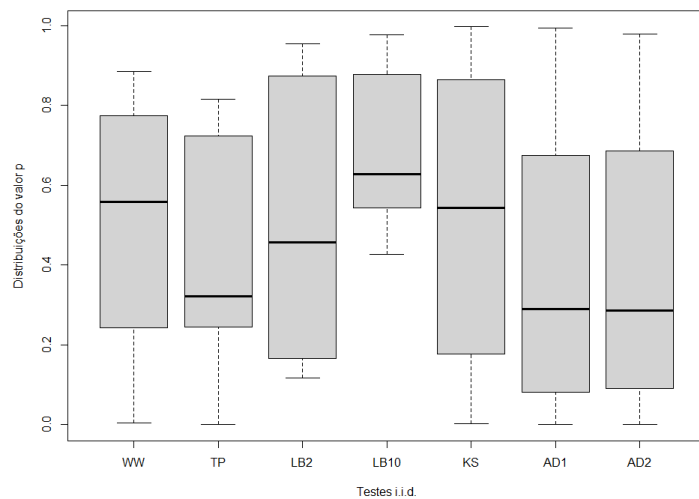
Figura 54 – Amostra 6 - Tarefa Bsort



a Amostra



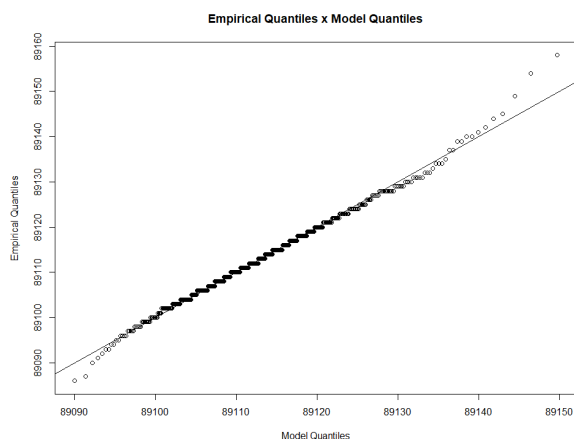
b Histograma



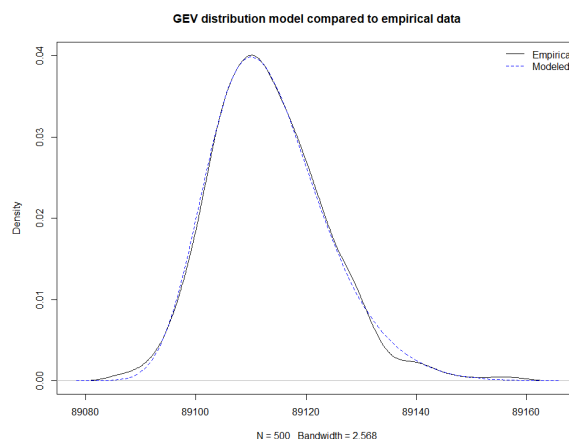
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

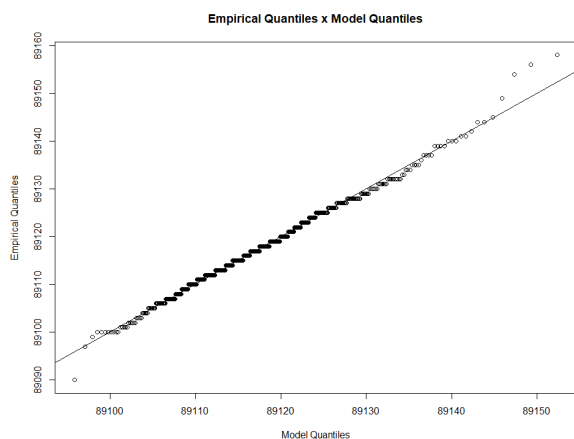
Figura 55 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 6 - Tarefa Bsort



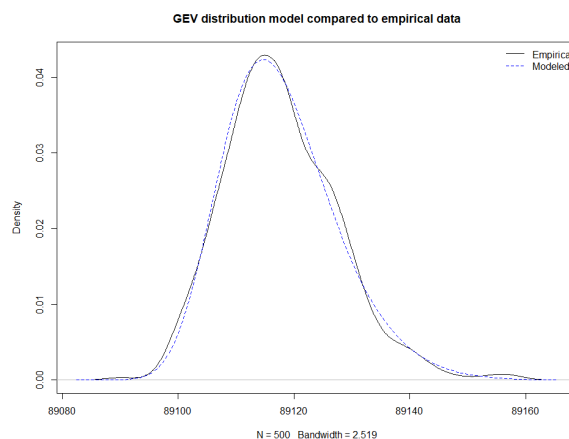
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



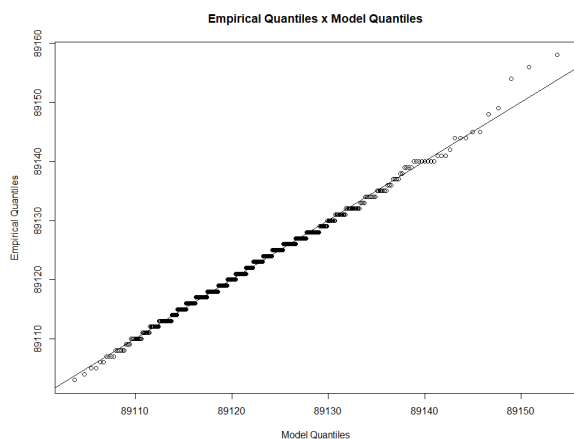
b Curva GEV com bloco 30



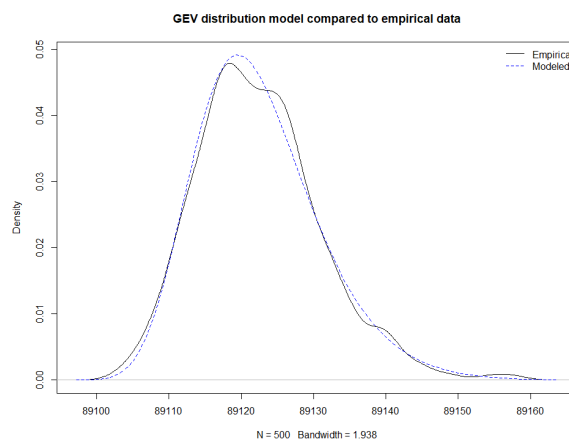
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



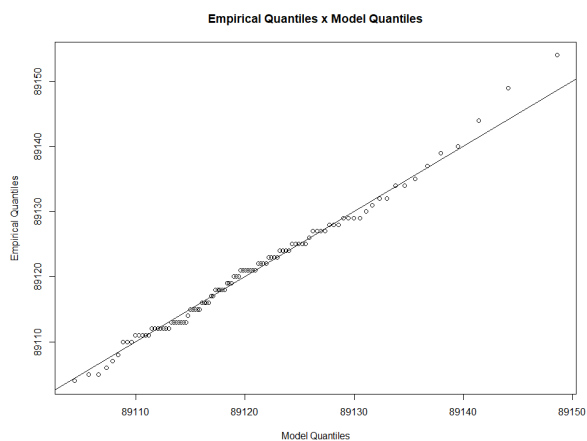
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



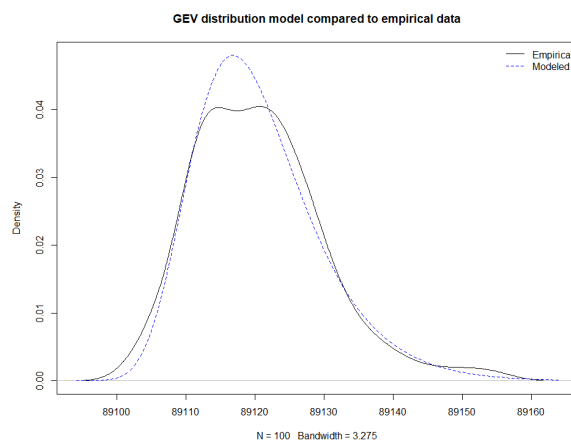
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

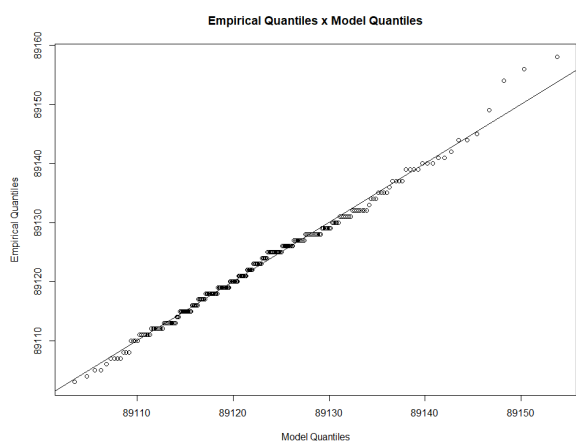
Figura 56 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 6 - Tarefa Bsort



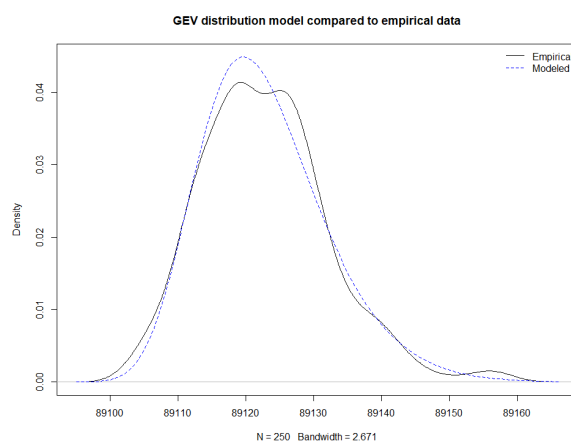
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



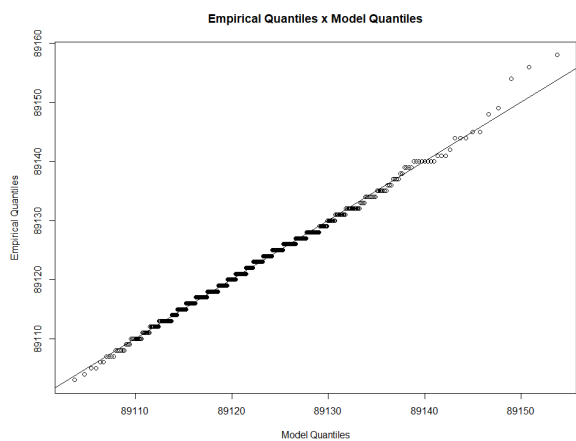
b Curva GEV com 100 blocos



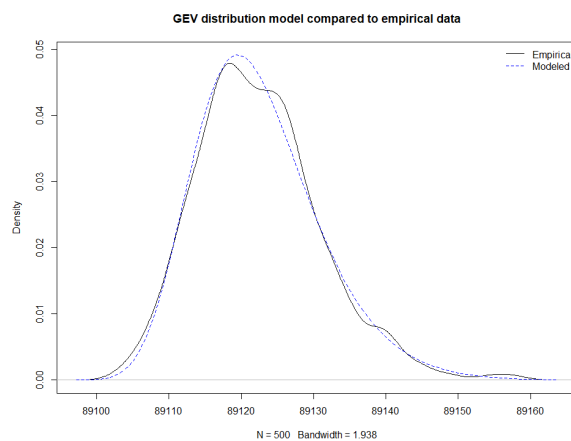
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 41 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88995 | 89059 | 89072 | 89072 | 89086 | 89158 | 20,22701 | 409,1318 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 42 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89108,0469 | 89108,9349 | 89109,8230 |
| | σ | 8,6787 | 9,2893 | 9,8999 |
| | ξ | -0,1648 | -0,1193 | -0,0739 |
| 50 | μ | 89112,8011 | 89113,6403 | 89114,4795 |
| | σ | 8,1668 | 8,7471 | 9,3274 |
| | ξ | -0,1644 | -0,1165 | -0,0686 |
| 100 | μ | 89118,0359 | 89118,7638 | 89119,4918 |
| | σ | 7,0189 | 7,5283 | 8,0378 |
| | ξ | -0,1514 | -0,0989 | -0,0464 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 43 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89156,1923 | 89167,0708 | 89177,9493 |
| | 10^{-6} | 89158,3703 | 89171,8041 | 89185,2378 |
| | 10^{-7} | 89159,6491 | 89175,4000 | 89191,1509 |
| | 10^{-8} | 89160,3358 | 89178,1320 | 89195,9281 |
| 50 | 10^{-5} | 89158,1038 | 89169,0884 | 89180,0731 |
| | 10^{-6} | 89160,0875 | 89173,7086 | 89187,3297 |
| | 10^{-7} | 89161,2151 | 89177,2417 | 89193,2684 |
| | 10^{-8} | 89161,7803 | 89179,9436 | 89198,1069 |
| 100 | 10^{-5} | 89158,7649 | 89170,5089 | 89182,2530 |
| | 10^{-6} | 89160,5964 | 89175,4744 | 89190,3524 |
| | 10^{-7} | 89161,5763 | 89179,4287 | 89197,2812 |
| | 10^{-8} | 89161,9761 | 89182,5778 | 89203,1795 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 44 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89114,8238 | 89116,5061 | 89118,1884 |
| | σ | 6,4626 | 7,6669 | 8,8712 |
| | ξ | -0,1793 | -0,0431 | 0,0931 |
| 250 | μ | 89117,684 | 89118,8121 | 89119,9401 |
| | σ | 7,4499 | 8,2391 | 9,0283 |
| | ξ | -0,1752 | -0,1002 | -0,0252 |
| 500 | μ | 89118,0359 | 89118,7638 | 89119,4918 |
| | σ | 7,0189 | 7,5283 | 8,0378 |
| | ξ | -0,1514 | -0,0989 | -0,0464 |

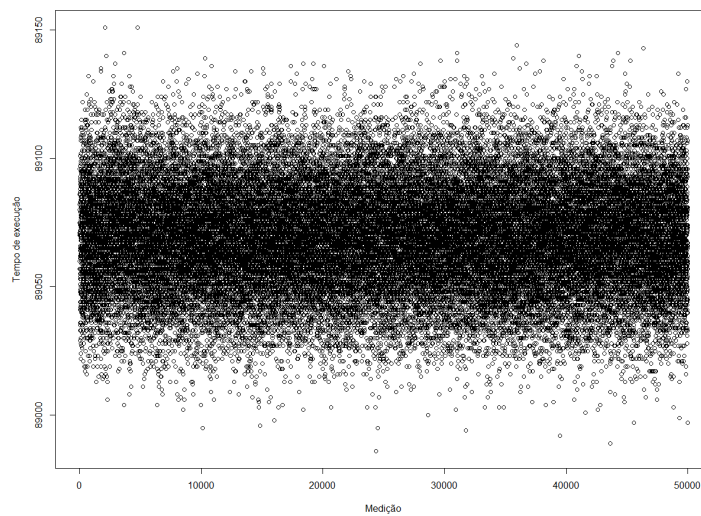
Fonte – Do Autor.

Tabela 45 – Amostra 6 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

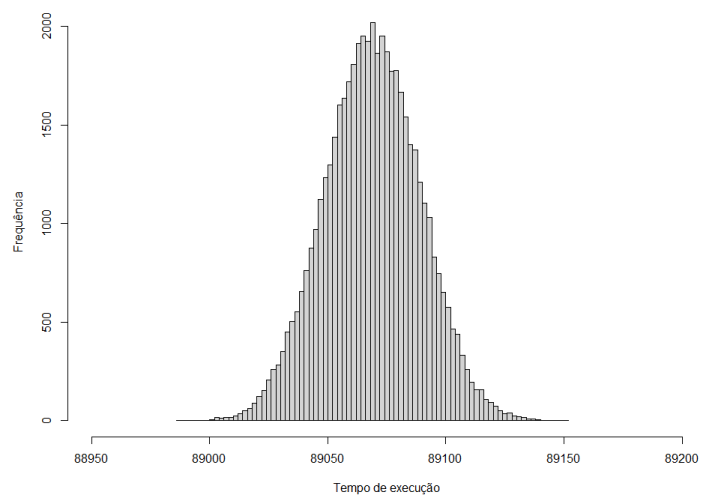
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89138,9597 | 89186,0884 | 89233,2171 |
| | 10^{-6} | 89132,1589 | 89196,3203 | 89260,4818 |
| | 10^{-7} | 89123,0873 | 89205,5855 | 89288,0838 |
| | 10^{-8} | 89112,2374 | 89213,9754 | 89315,7134 |
| 250 | 10^{-5} | 89156,9233 | 89175,0983 | 89193,2732 |
| | 10^{-6} | 89157,4477 | 89180,4439 | 89203,4402 |
| | 10^{-7} | 89157,1298 | 89184,6883 | 89212,2468 |
| | 10^{-8} | 89156,2954 | 89188,0582 | 89219,8209 |
| 500 | 10^{-5} | 89158,7649 | 89170,5089 | 89182,2530 |
| | 10^{-6} | 89160,5964 | 89175,4744 | 89190,3524 |
| | 10^{-7} | 89161,5763 | 89179,4287 | 89197,2812 |
| | 10^{-8} | 89161,9761 | 89182,5778 | 89203,1795 |

Fonte – Do Autor.

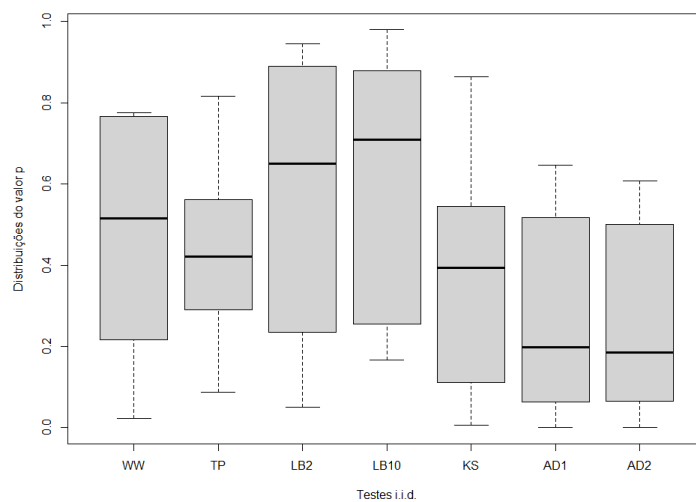
Figura 57 – Amostra 7 - Tarefa Bsort



a Amostra



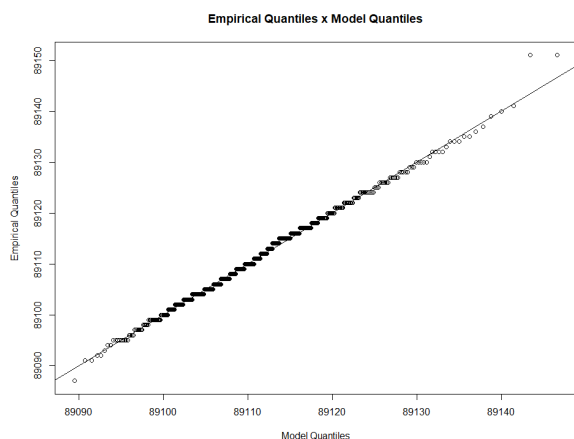
b Histograma



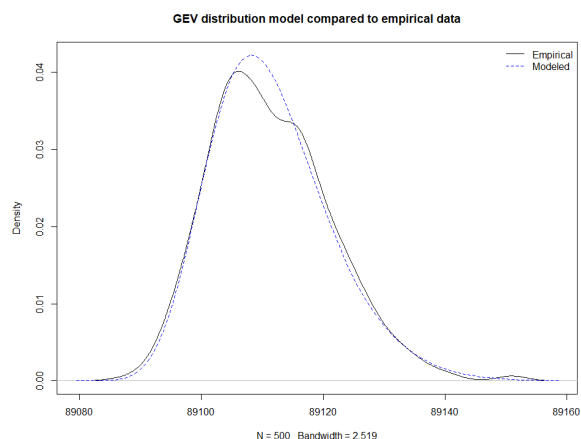
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

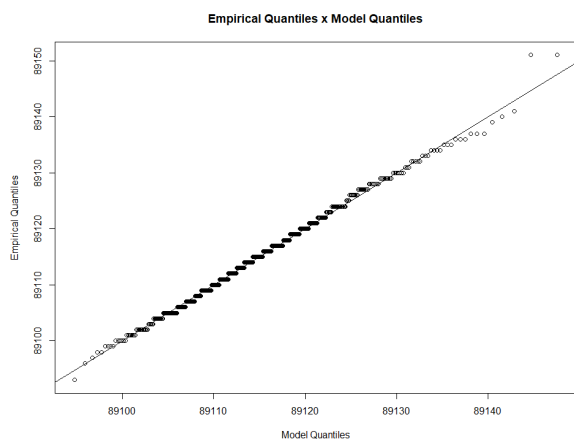
Figura 58 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 7 - Tarefa Bsort



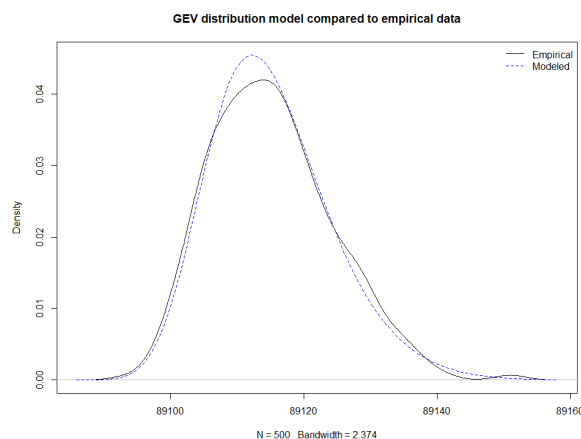
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



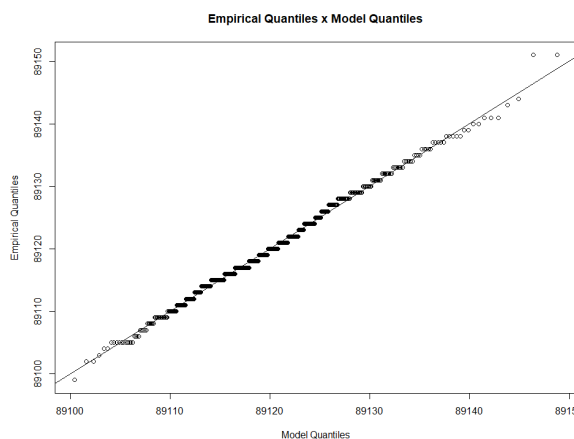
b Curva GEV com bloco 30



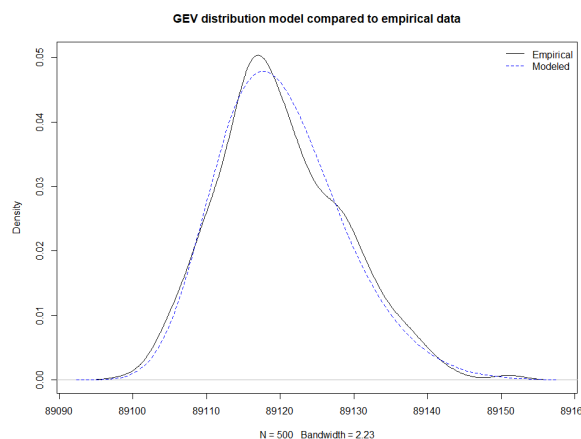
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



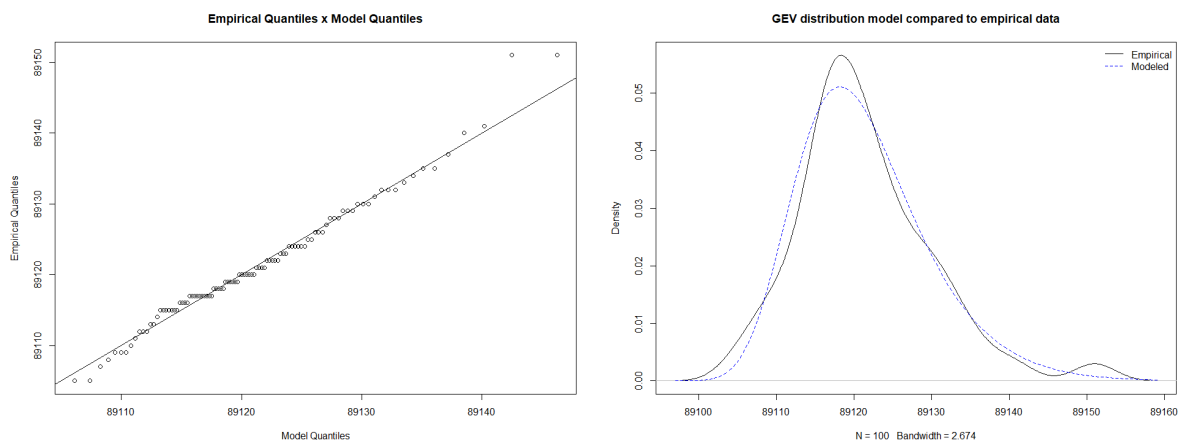
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



f Curva GEV com bloco 100

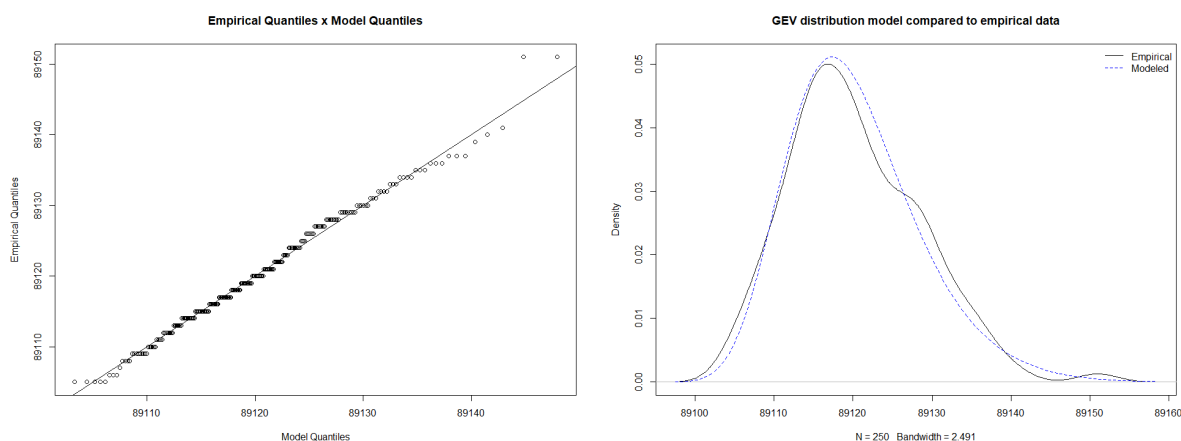
Fonte – Do Autor.

Figura 59 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 7 - Tarefa Bsort



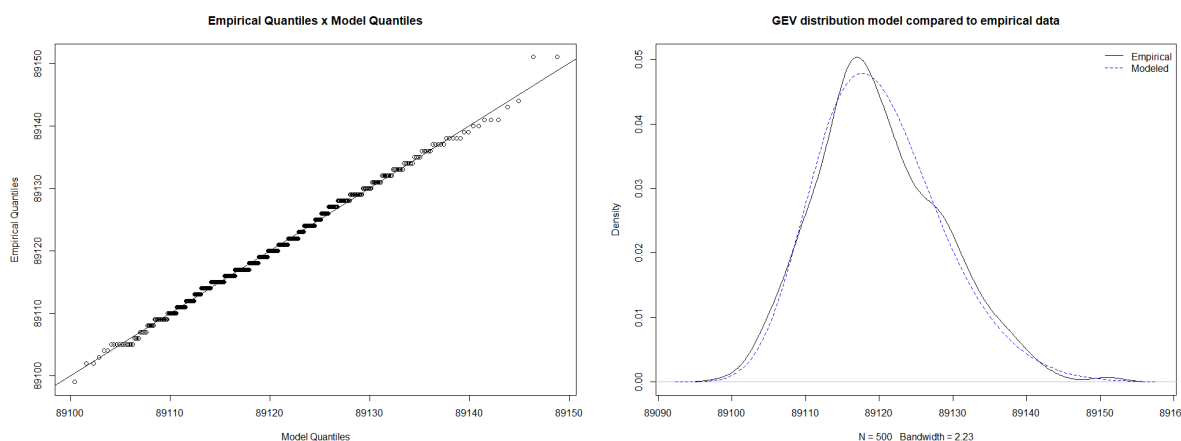
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos

b Curva GEV com 100 blocos



c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos

d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos

f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 46 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88986 | 89056 | 89069 | 89069 | 89083 | 89151 | 20,19869 | 407,9871 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 47 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89106,3813 | 89107,2313 | 89108,0813 |
| | σ | 8,1717 | 8,7701 | 9,3686 |
| | ξ | -0,1653 | -0,1110 | -0,0567 |
| 50 | μ | 89110,5052 | 89111,2988 | 89112,0924 |
| | σ | 7,5912 | 8,1529 | 8,7147 |
| | ξ | -0,1713 | -0,1144 | -0,0575 |
| 100 | μ | 89115,8138 | 89116,5674 | 89117,3210 |
| | σ | 7,2391 | 7,7684 | 8,2978 |
| | ξ | -0,1958 | -0,1404 | -0,0851 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 48 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89151,3524 | 89164,2239 | 89177,0955 |
| | 10^{-6} | 89153,0881 | 89169,1877 | 89185,2873 |
| | 10^{-7} | 89153,9513 | 89173,0318 | 89192,1122 |
| | 10^{-8} | 89154,2482 | 89176,0088 | 89197,7693 |
| 50 | 10^{-5} | 89151,2846 | 89163,4702 | 89175,6558 |
| | 10^{-6} | 89152,6931 | 89167,8914 | 89183,0898 |
| | 10^{-7} | 89153,3299 | 89171,2888 | 89189,2476 |
| | 10^{-8} | 89153,4778 | 89173,8993 | 89194,3208 |
| 100 | 10^{-5} | 89151,5368 | 89160,9012 | 89170,2655 |
| | 10^{-6} | 89152,5748 | 89163,9352 | 89175,2956 |
| | 10^{-7} | 89153,0464 | 89166,1309 | 89179,2154 |
| | 10^{-8} | 89153,1860 | 89167,7200 | 89182,2539 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 49 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89116,1644 | 89117,7217 | 89119,2790 |
| | σ | 6,1283 | 7,2126 | 8,2969 |
| | ξ | -0,1844 | -0,0684 | 0,0476 |
| 250 | μ | 89115,6754 | 89116,6761 | 89117,6768 |
| | σ | 6,5193 | 7,2321 | 7,9449 |
| | ξ | -0,1771 | -0,0929 | -0,0088 |
| 500 | μ | 89115,8138 | 89116,5674 | 89117,3210 |
| | σ | 7,2391 | 7,7684 | 8,2978 |
| | ξ | -0,1958 | -0,1404 | -0,0851 |

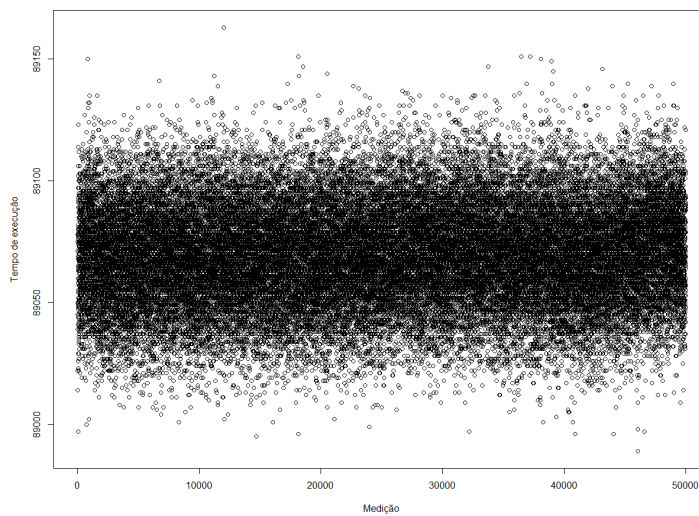
Fonte – Do Autor.

Tabela 50 – Amostra 7 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

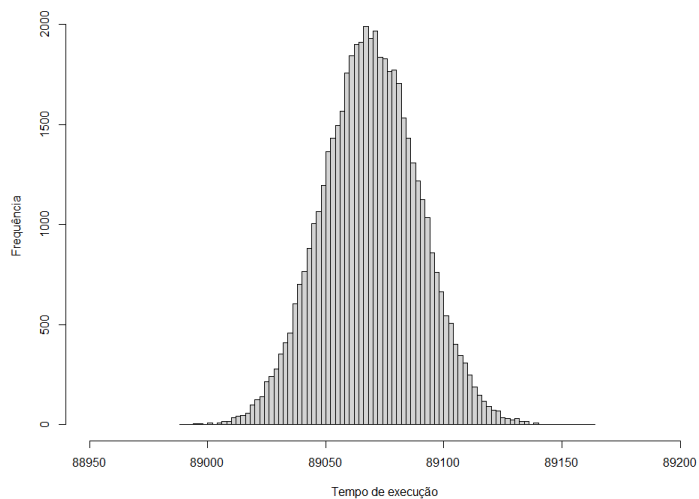
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89143,6311 | 89175,1972 | 89206,7632 |
| | 10^{-6} | 89140,7580 | 89182,1901 | 89223,6221 |
| | 10^{-7} | 89136,7043 | 89188,1642 | 89239,6241 |
| | 10^{-8} | 89131,8768 | 89193,2680 | 89254,6592 |
| 250 | 10^{-5} | 89149,0656 | 89167,7975 | 89186,5295 |
| | 10^{-6} | 89148,9861 | 89172,9390 | 89196,8918 |
| | 10^{-7} | 89148,1158 | 89177,0898 | 89206,0638 |
| | 10^{-8} | 89146,7634 | 89180,4409 | 89214,1184 |
| 500 | 10^{-5} | 89151,5368 | 89160,9012 | 89170,2655 |
| | 10^{-6} | 89152,5748 | 89163,9352 | 89175,2956 |
| | 10^{-7} | 89153,0464 | 89166,1309 | 89179,2154 |
| | 10^{-8} | 89153,1860 | 89167,7200 | 89182,2539 |

Fonte – Do Autor.

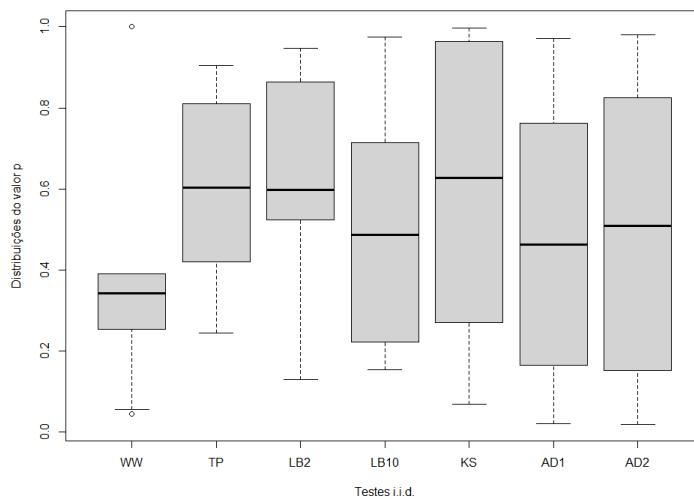
Figura 60 – Amostra 8 - Tarefa Bsort



a Amostra



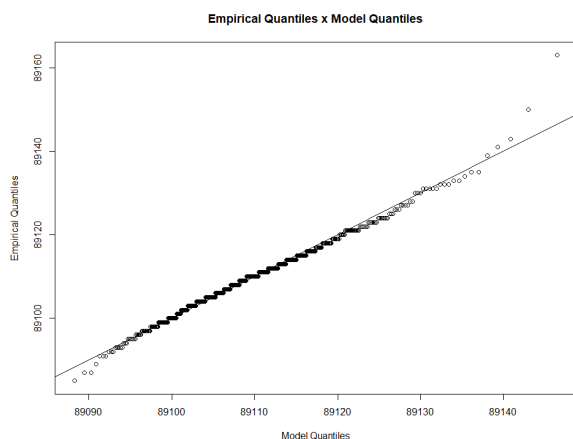
b Histograma



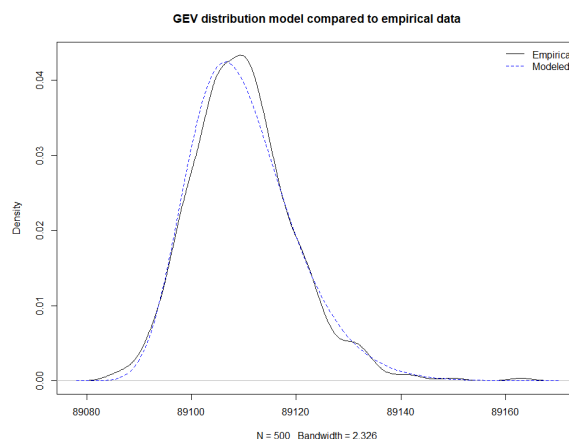
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

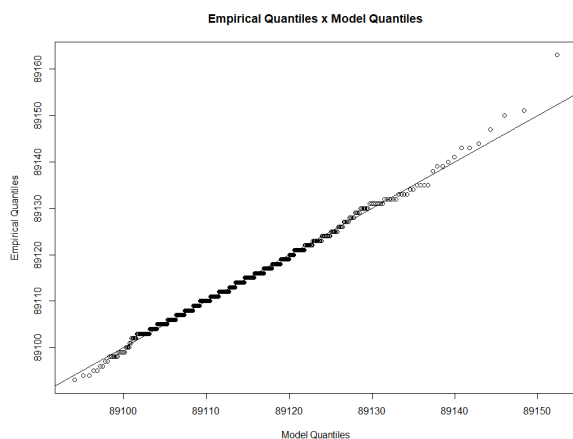
Figura 61 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 8 - Tarefa Bsort



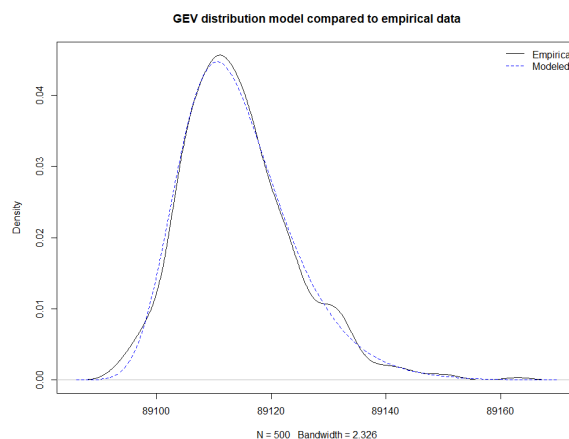
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



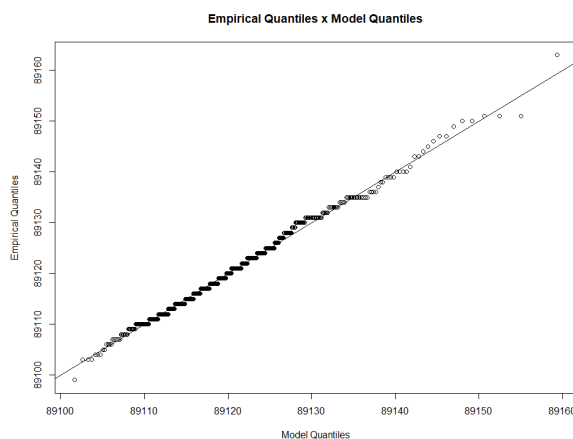
b Curva GEV com bloco 30



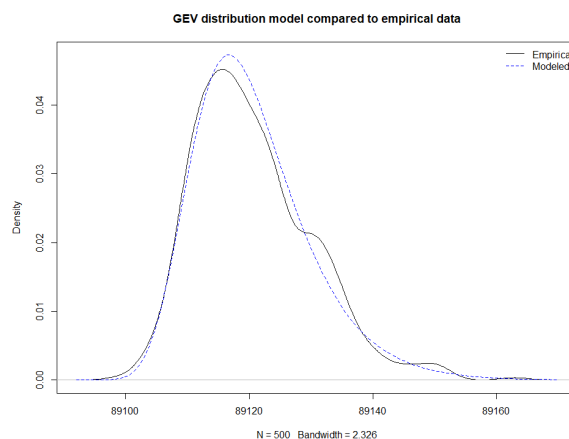
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



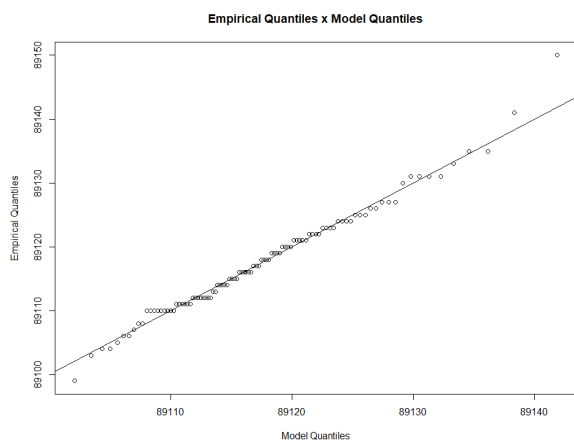
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



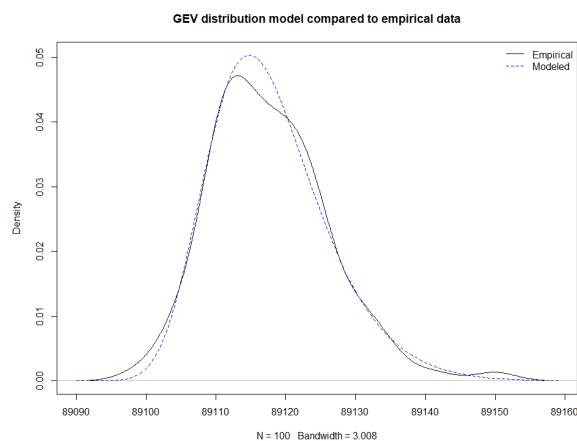
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

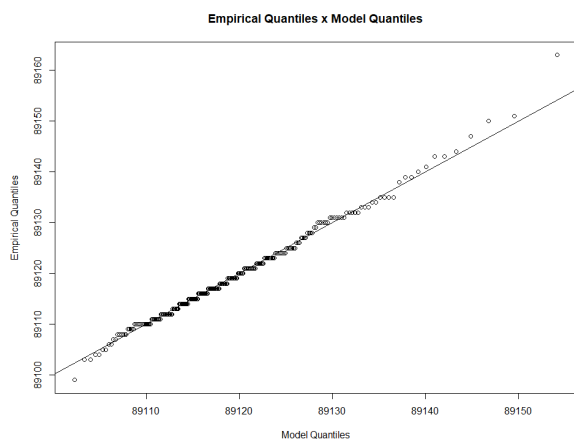
Figura 62 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 8 - Tarefa Bsort



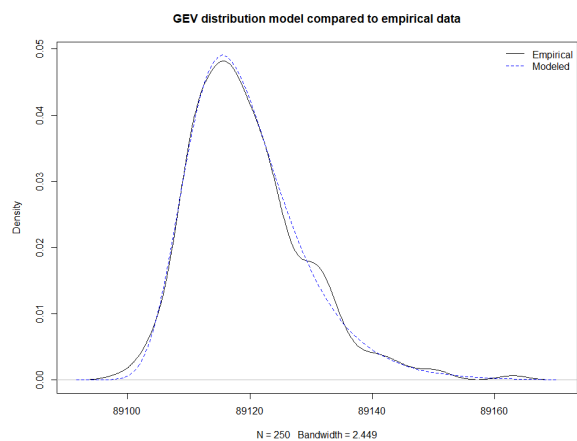
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



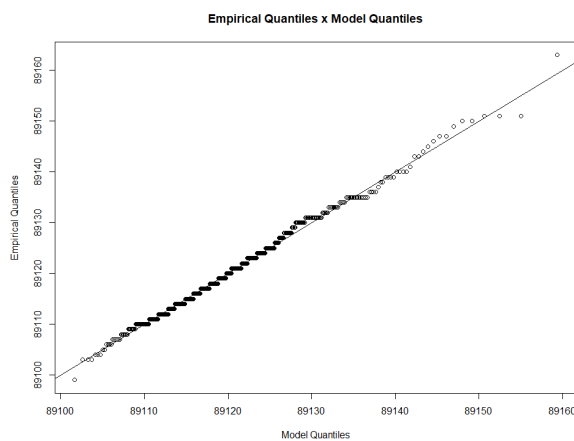
b Curva GEV com 100 blocos



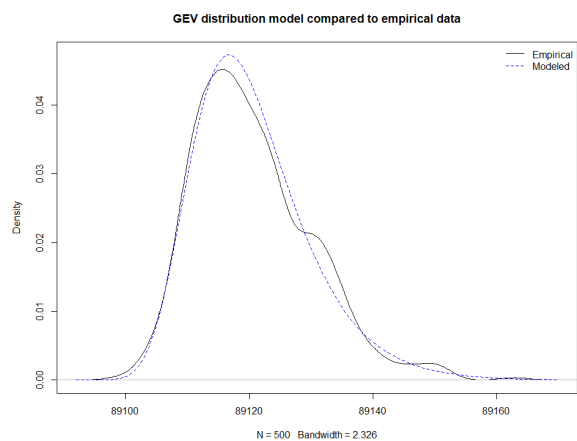
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 51 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88989 | 89056 | 89069 | 89070 | 89083 | 89163 | 20,3582 | 414,4565 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 52 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89104,7907 | 89105,6184 | 89106,4461 |
| | σ | 8,1321 | 8,7022 | 9,2723 |
| | ξ | -0,1362 | -0,0953 | -0,0543 |
| 50 | μ | 89109,2139 | 89110,0092 | 89110,8045 |
| | σ | 7,6857 | 8,2429 | 8,8001 |
| | ξ | -0,1149 | -0,0634 | -0,0119 |
| 100 | μ | 89115,6211 | 89116,3852 | 89117,1492 |
| | σ | 7,2403 | 7,7884 | 8,3365 |
| | ξ | -0,1010 | -0,0393 | 0,0224 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 53 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89155,4066 | 89166,4626 | 89177,5185 |
| | 10^{-6} | 89158,4789 | 89172,4714 | 89186,4640 |
| | 10^{-7} | 89160,4902 | 89177,2969 | 89194,1035 |
| | 10^{-8} | 89161,7402 | 89181,1719 | 89200,6036 |
| 50 | 10^{-5} | 89160,7382 | 89177,3609 | 89193,9836 |
| | 10^{-6} | 89163,9138 | 89185,8712 | 89207,8285 |
| | 10^{-7} | 89165,7836 | 89193,2254 | 89220,6672 |
| | 10^{-8} | 89166,6447 | 89199,5806 | 89232,5164 |
| 100 | 10^{-5} | 89166,1415 | 89188,5033 | 89210,8650 |
| | 10^{-6} | 89168,8111 | 89199,4070 | 89230,0029 |
| | 10^{-7} | 89169,8312 | 89209,3669 | 89248,9026 |
| | 10^{-8} | 89169,4687 | 89218,4647 | 89267,4607 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 54 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89112,5172 | 89114,0977 | 89115,6781 |
| | σ | 6,2381 | 7,3373 | 8,4364 |
| | ξ | -0,2018 | -0,0892 | 0,0234 |
| 250 | μ | 89114,3373 | 89115,3652 | 89116,3931 |
| | σ | 6,7682 | 7,4979 | 8,2276 |
| | ξ | -0,1024 | -0,0245 | 0,0535 |
| 500 | μ | 89115,6211 | 89116,3852 | 89117,1492 |
| | σ | 7,2403 | 7,7884 | 8,3365 |
| | ξ | -0,1010 | -0,0393 | 0,0224 |

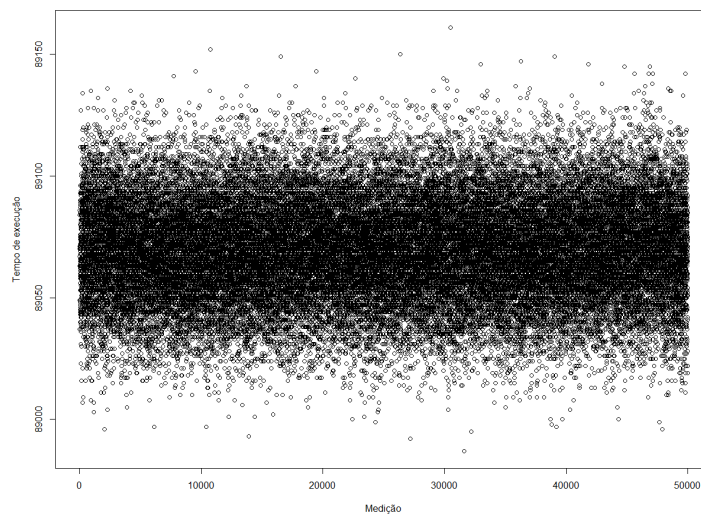
Fonte – Do Autor.

Tabela 55 – Amostra 8 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

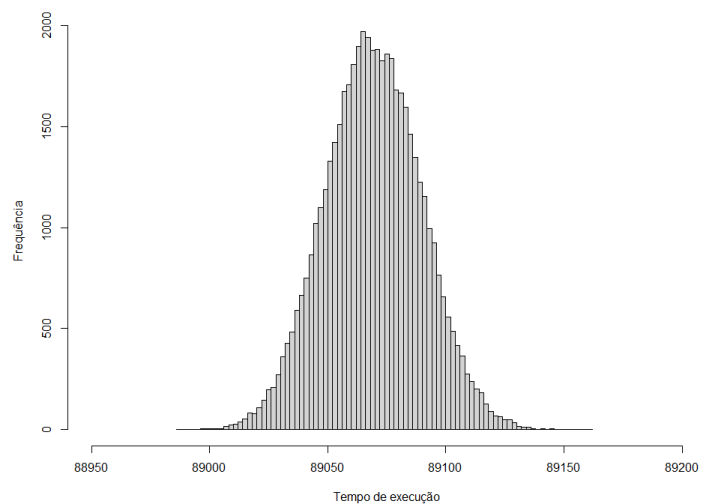
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89140,3145 | 89166,8914 | 89193,4683 |
| | 10^{-6} | 89138,3525 | 89172,3586 | 89206,3646 |
| | 10^{-7} | 89135,5984 | 89176,8104 | 89218,0223 |
| | 10^{-8} | 89132,4157 | 89180,4353 | 89228,4550 |
| 250 | 10^{-5} | 89159,6575 | 89190,5973 | 89221,5371 |
| | 10^{-6} | 89160,1716 | 89203,2641 | 89246,3566 |
| | 10^{-7} | 89158,5037 | 89215,2372 | 89271,9707 |
| | 10^{-8} | 89154,8931 | 89226,5545 | 89298,2158 |
| 500 | 10^{-5} | 89166,1415 | 89188,5033 | 89210,8650 |
| | 10^{-6} | 89168,8111 | 89199,4070 | 89230,0029 |
| | 10^{-7} | 89169,8312 | 89209,3669 | 89248,9026 |
| | 10^{-8} | 89169,4687 | 89218,4647 | 89267,4607 |

Fonte – Do Autor.

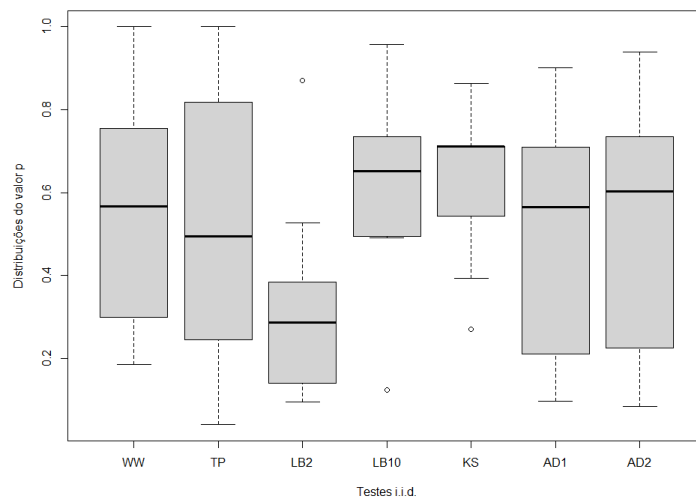
Figura 63 – Amostra 9 - Tarefa Bsort



a Amostra



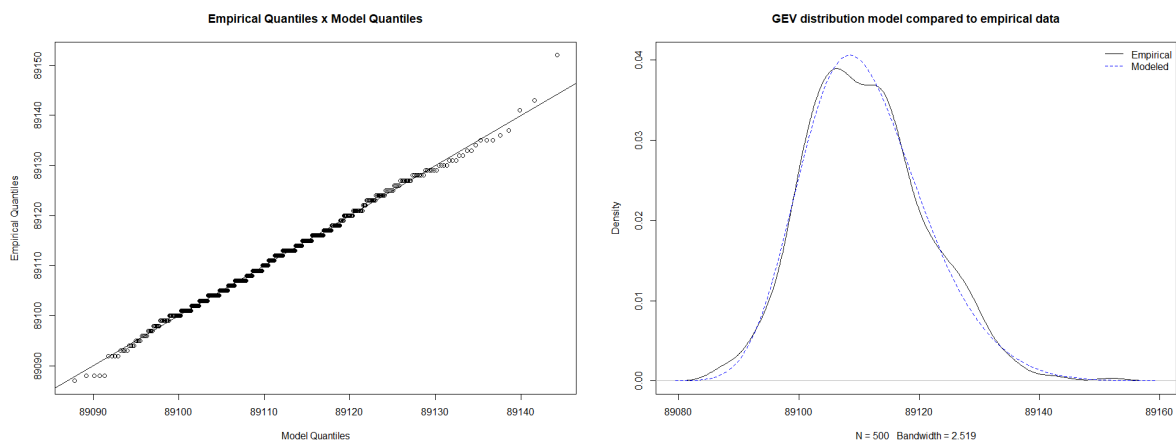
b Histograma



c Testes i.i.d

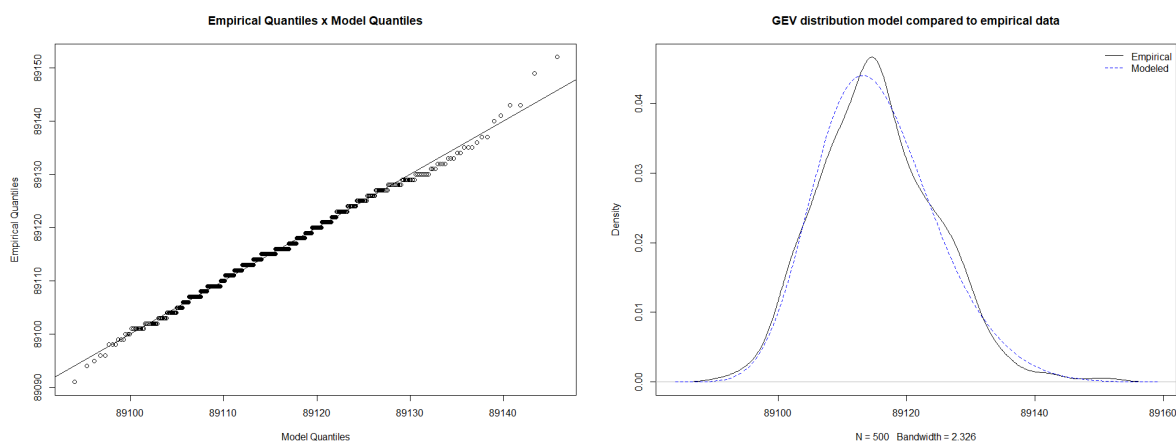
Fonte – Do Autor.

Figura 64 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 9 - Tarefa Bsort



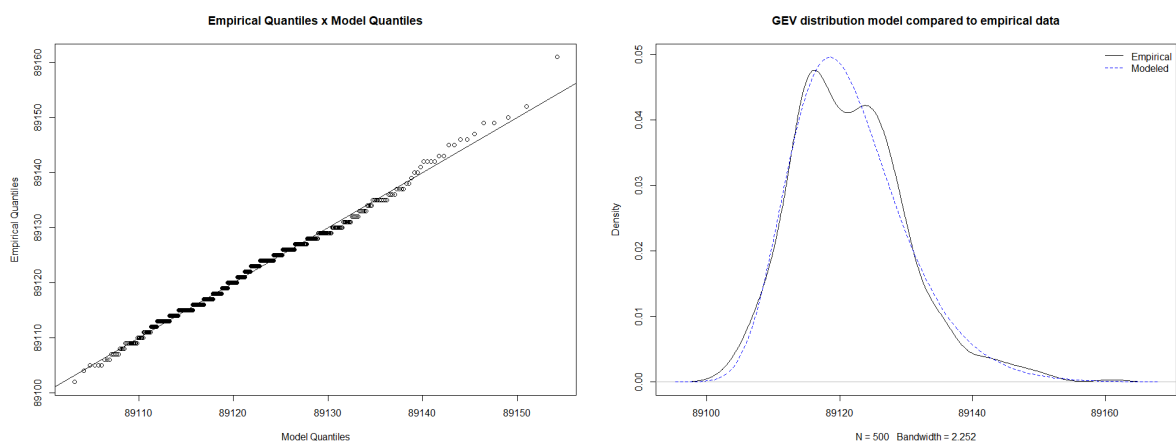
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30

b Curva GEV com bloco 30



c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50

d Curva GEV com bloco 50

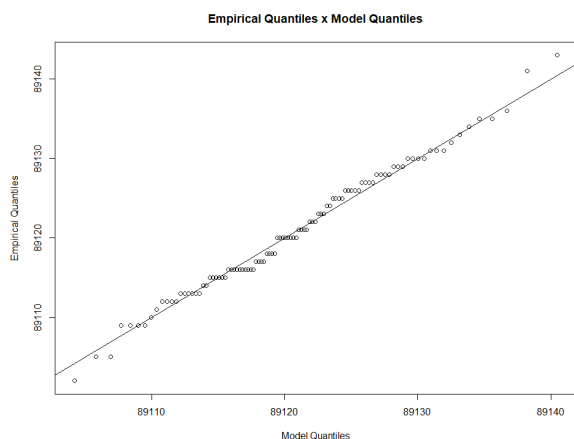


e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100

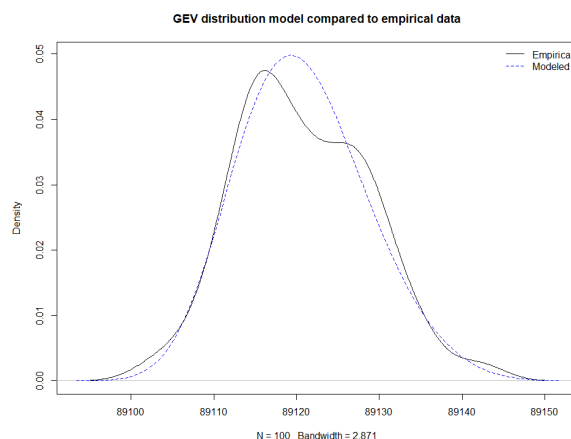
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

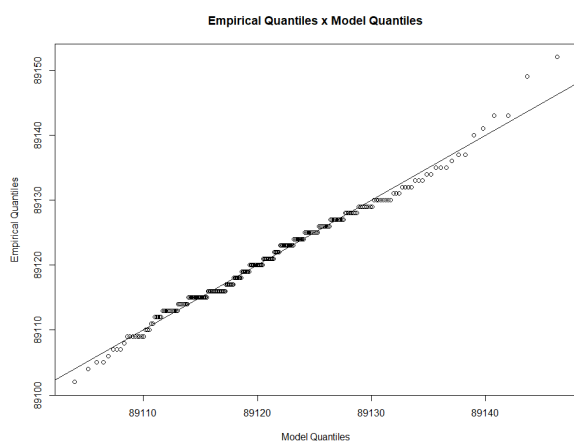
Figura 65 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 9 - Tarefa Bsort



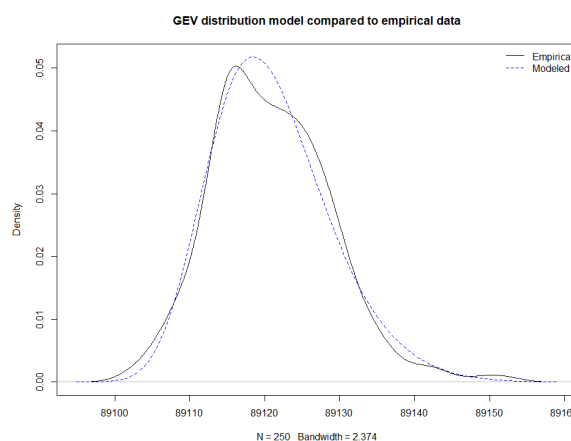
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



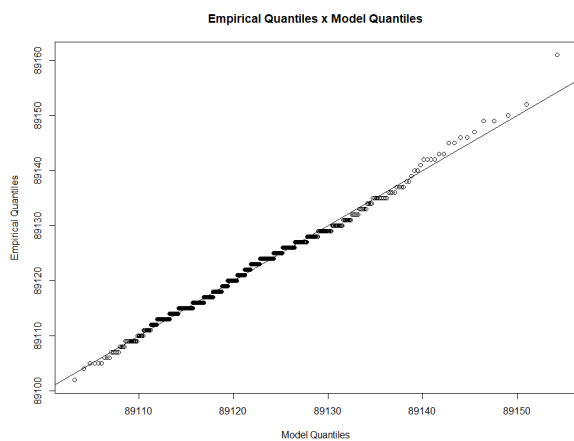
b Curva GEV com 100 blocos



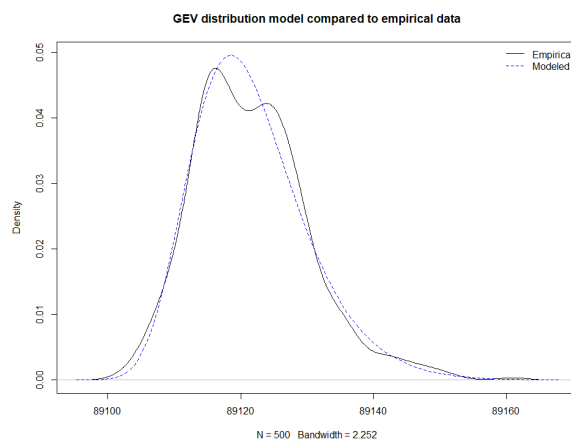
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 56 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88987 | 89056 | 89070 | 89070 | 89084 | 89161 | 20,4021 | 416,2472 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 57 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89106,1640 | 89107,0426 | 89107,9213 |
| | σ | 8,5602 | 9,1708 | 9,7814 |
| | ξ | -0,1964 | -0,1489 | -0,1014 |
| 50 | μ | 89111,0035 | 89111,8125 | 89112,6215 |
| | σ | 7,9008 | 8,4606 | 9,0203 |
| | ξ | -0,1983 | -0,1526 | -0,1070 |
| 100 | μ | 89117,1400 | 89117,8605 | 89118,5810 |
| | σ | 6,9315 | 7,4378 | 7,9440 |
| | ξ | -0,1344 | -0,0808 | -0,0272 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 58 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89148,5955 | 89157,5426 | 89166,4897 |
| | 10^{-6} | 89150,0217 | 89160,7625 | 89171,5033 |
| | 10^{-7} | 89150,7851 | 89163,0478 | 89175,3106 |
| | 10^{-8} | 89151,1508 | 89164,6699 | 89178,1889 |
| 50 | 10^{-5} | 89149,9621 | 89157,6857 | 89165,4093 |
| | 10^{-6} | 89151,2861 | 89160,5205 | 89169,7549 |
| | 10^{-7} | 89152,0091 | 89162,5153 | 89173,0215 |
| | 10^{-8} | 89152,3715 | 89163,9191 | 89175,4666 |
| 100 | 10^{-5} | 89160,0216 | 89173,5967 | 89187,1718 |
| | 10^{-6} | 89162,1885 | 89179,7596 | 89197,3308 |
| | 10^{-7} | 89163,3546 | 89184,8760 | 89206,3975 |
| | 10^{-8} | 89163,7981 | 89189,1237 | 89214,4493 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 59 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89116,0493 | 89117,6838 | 89119,3183 |
| | σ | 6,3964 | 7,5429 | 8,6893 |
| | ξ | -0,3234 | -0,1986 | -0,0739 |
| 250 | μ | 89116,6212 | 89117,5930 | 89118,5647 |
| | σ | 6,4879 | 7,1598 | 7,8317 |
| | ξ | -0,1912 | -0,1237 | -0,0562 |
| 500 | μ | 89117,1400 | 89117,8605 | 89118,5810 |
| | σ | 6,9315 | 7,4378 | 7,9440 |
| | ξ | -0,1344 | -0,0808 | -0,0272 |

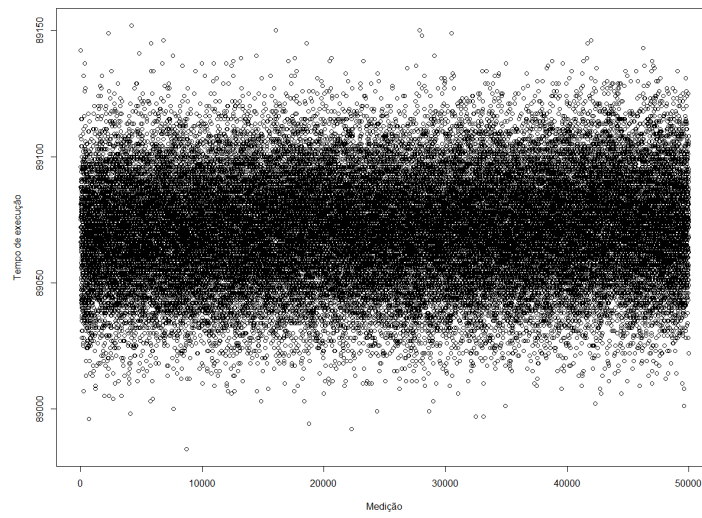
Fonte – Do Autor.

Tabela 60 – Amostra 9 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

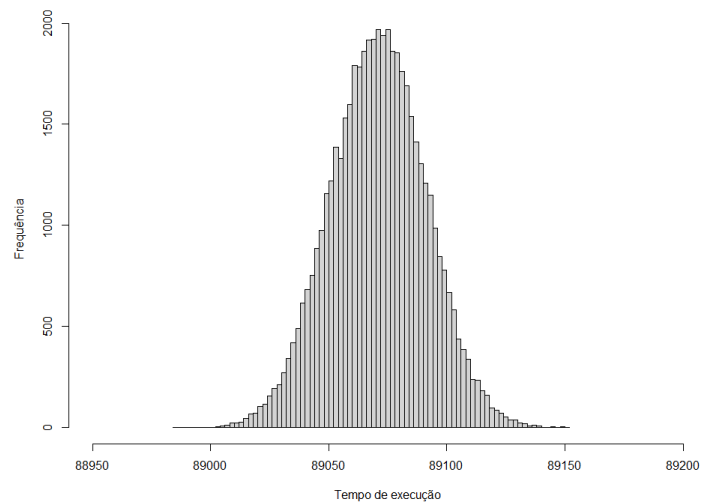
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89138,2615 | 89151,8018 | 89165,3420 |
| | 10^{-6} | 89137,6206 | 89153,2180 | 89168,8153 |
| | 10^{-7} | 89136,9601 | 89154,1144 | 89171,2687 |
| | 10^{-8} | 89136,3814 | 89154,6818 | 89172,9821 |
| 250 | 10^{-5} | 89149,5486 | 89161,5375 | 89173,5265 |
| | 10^{-6} | 89150,2339 | 89164,9901 | 89179,7464 |
| | 10^{-7} | 89150,3460 | 89167,5869 | 89184,8277 |
| | 10^{-8} | 89150,1279 | 89169,5399 | 89188,9520 |
| 500 | 10^{-5} | 89160,0216 | 89173,5967 | 89187,1718 |
| | 10^{-6} | 89162,1885 | 89179,7596 | 89197,3308 |
| | 10^{-7} | 89163,3546 | 89184,8760 | 89206,3975 |
| | 10^{-8} | 89163,7981 | 89189,1237 | 89214,4493 |

Fonte – Do Autor.

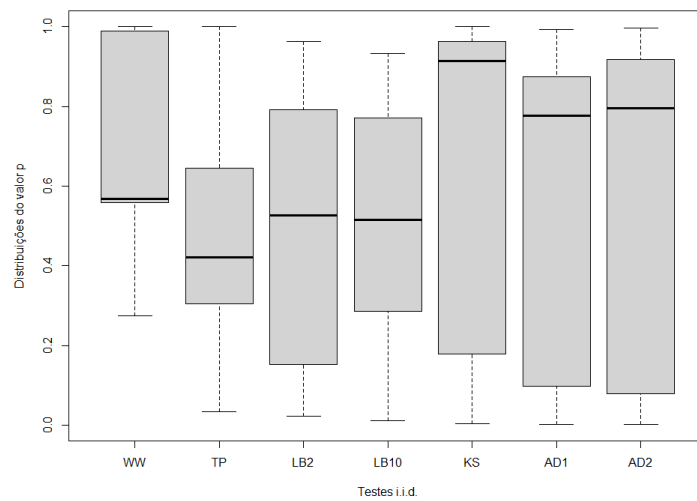
Figura 66 – Amostra 10 - Tarefa Bsort



a Amostra



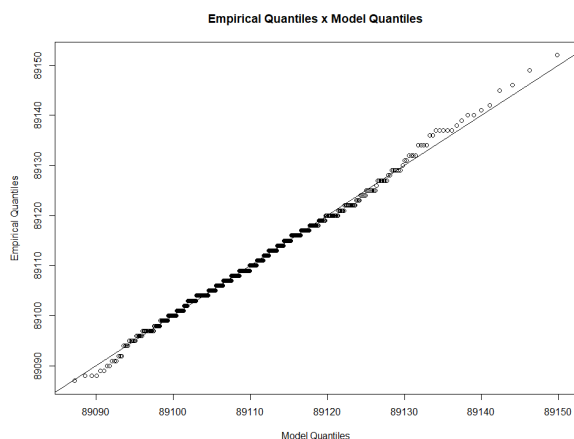
b Histograma



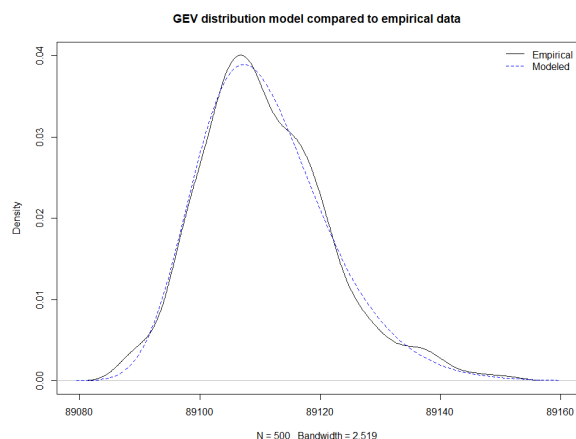
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

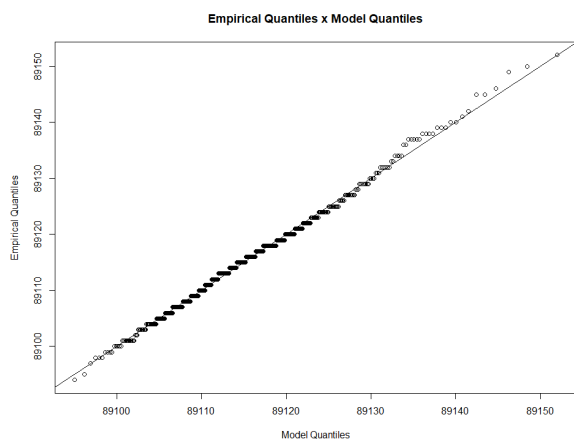
Figura 67 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 10 - Tarefa Bsort



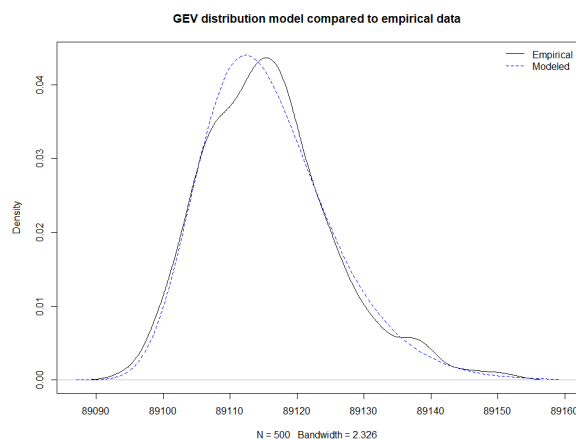
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



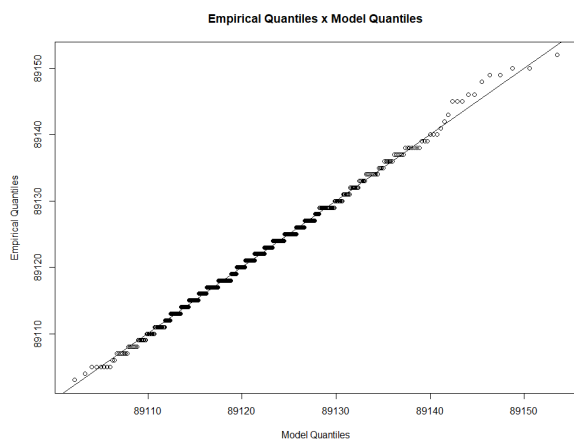
b Curva GEV com bloco 30



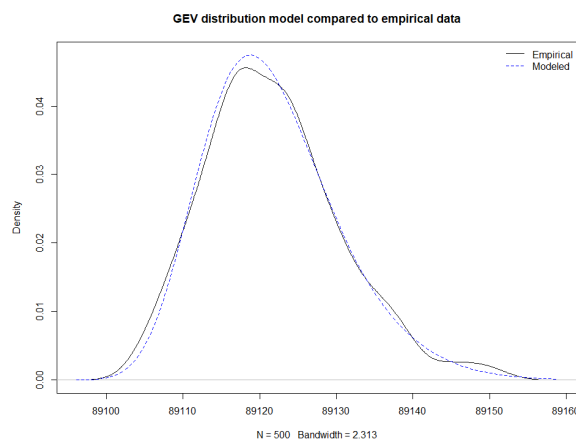
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



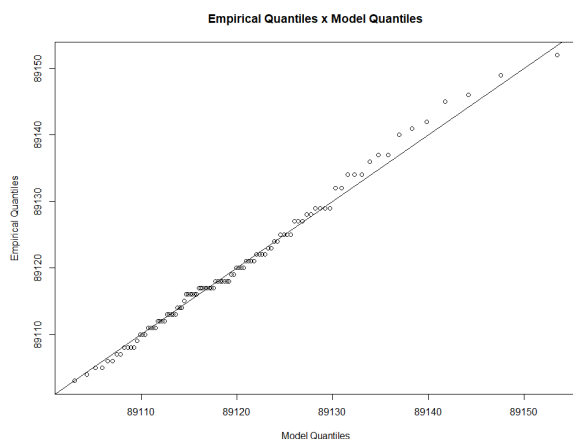
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



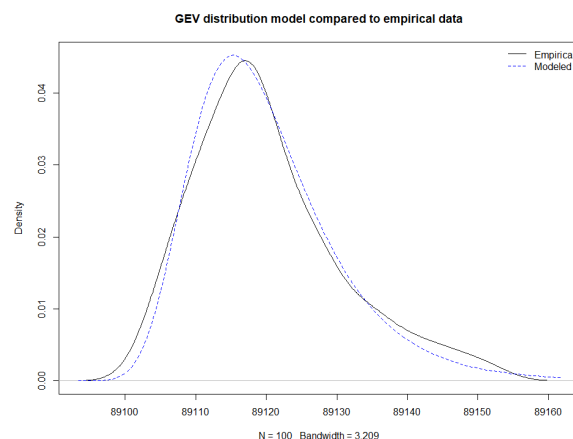
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

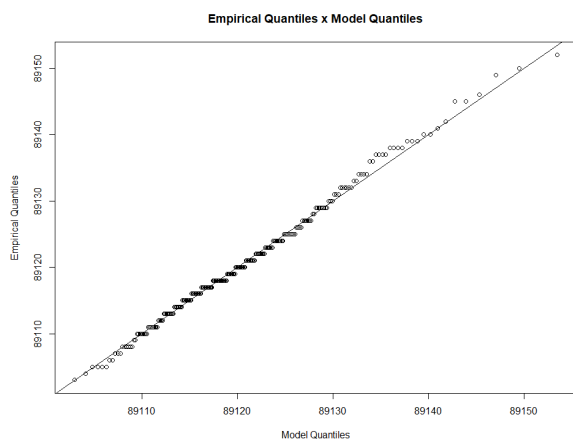
Figura 68 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 10 - Tarefa Bsort



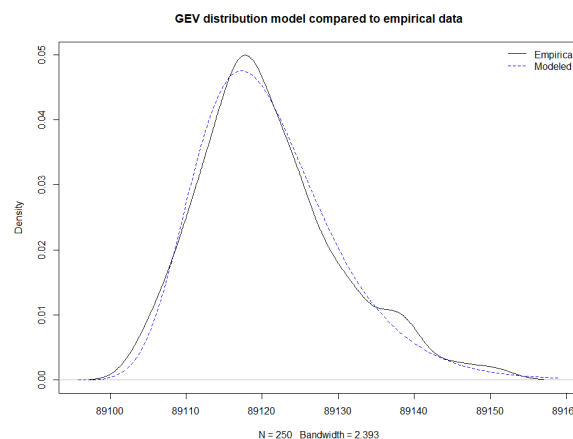
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



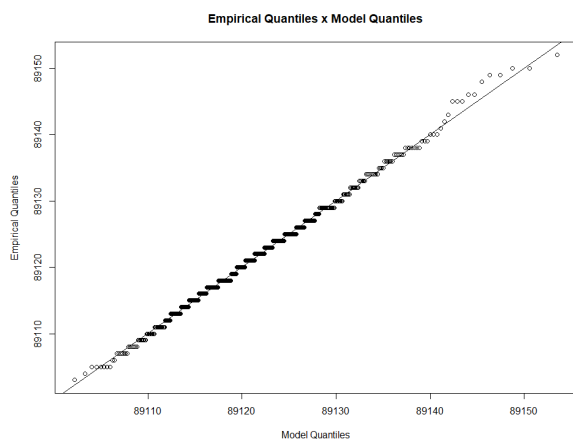
b Curva GEV com 100 blocos



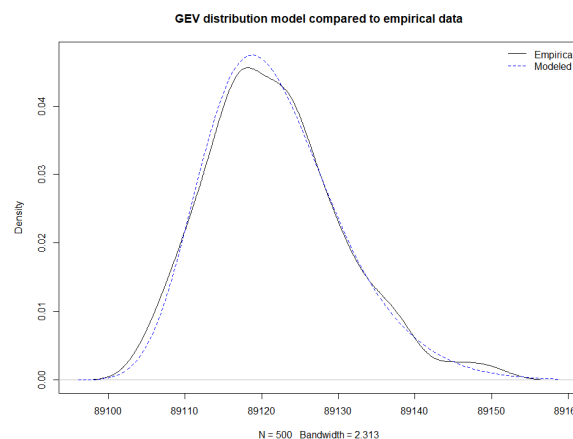
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 61 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|-------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 88984 | 89058 | 89072 | 89071 | 89085 | 89152 | 20,25008 | 410,0658 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 62 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 89105,3725 | 89106,2926 | 89107,2128 |
| | σ | 8,8585 | 9,5002 | 10,1419 |
| | ξ | -0,1580 | -0,1039 | -0,0498 |
| 50 | μ | 89110,7729 | 89111,5909 | 89112,4089 |
| | σ | 7,8138 | 8,3904 | 8,9670 |
| | ξ | -0,1441 | -0,0864 | -0,0287 |
| 100 | μ | 89117,1753 | 89117,9379 | 89118,7004 |
| | σ | 7,2642 | 7,8025 | 8,3408 |
| | ξ | -0,1651 | -0,1060 | -0,0468 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 63 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 89155,3555 | 89170,0884 | 89184,8213 |
| | 10^{-6} | 89157,4112 | 89175,9717 | 89194,5323 |
| | 10^{-7} | 89158,4523 | 89180,6034 | 89202,7545 |
| | 10^{-8} | 89158,8183 | 89184,2498 | 89209,6812 |
| 50 | 10^{-5} | 89157,0527 | 89172,7917 | 89188,5308 |
| | 10^{-6} | 89159,0119 | 89179,272 | 89199,5321 |
| | 10^{-7} | 89159,9111 | 89184,5833 | 89209,2556 |
| | 10^{-8} | 89160,0699 | 89188,9367 | 89217,8035 |
| 100 | 10^{-5} | 89156,9012 | 89169,8253 | 89182,7495 |
| | 10^{-6} | 89158,2570 | 89174,5306 | 89190,8041 |
| | 10^{-7} | 89158,8167 | 89178,2169 | 89197,6170 |
| | 10^{-8} | 89158,8620 | 89181,1049 | 89203,3477 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 64 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 89113,5445 | 89115,36 | 89117,1755 |
| | σ | 6,8009 | 8,1328 | 9,4647 |
| | ξ | -0,1511 | 0,0070 | 0,1651 |
| 250 | μ | 89115,7804 | 89116,8578 | 89117,9351 |
| | σ | 6,9805 | 7,7486 | 8,5168 |
| | ξ | -0,1472 | -0,0585 | 0,0303 |
| 500 | μ | 89117,1753 | 89117,9379 | 89118,7004 |
| | σ | 7,2642 | 7,8025 | 8,3408 |
| | ξ | -0,1651 | -0,1060 | -0,0468 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 65 – Amostra 10 - Tarefa Bsort: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

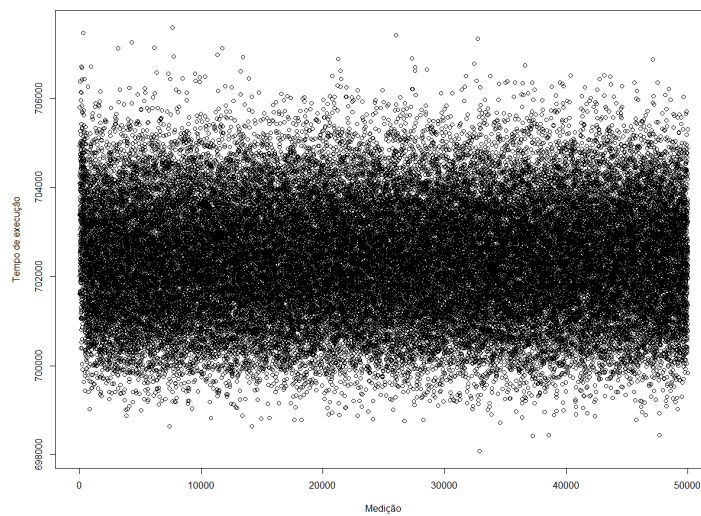
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 89127,3096 | 89212,8522 | 89298,3948 |
| | 10^{-6} | 89107,9054 | 89233,3074 | 89358,7095 |
| | 10^{-7} | 89080,6081 | 89254,0936 | 89427,5791 |
| | 10^{-8} | 89045,1722 | 89275,2162 | 89505,2601 |
| 250 | 10^{-5} | 89154,2112 | 89181,7869 | 89209,3626 |
| | 10^{-6} | 89153,5103 | 89190,3036 | 89227,0970 |
| | 10^{-7} | 89151,3728 | 89197,7478 | 89244,1229 |
| | 10^{-8} | 89148,1730 | 89204,2546 | 89260,3362 |
| 500 | 10^{-5} | 89156,9012 | 89169,8253 | 89182,7495 |
| | 10^{-6} | 89158,2570 | 89174,5306 | 89190,8041 |
| | 10^{-7} | 89158,8167 | 89178,2169 | 89197,6170 |
| | 10^{-8} | 89158,8620 | 89181,1049 | 89203,3477 |

Fonte – Do Autor.

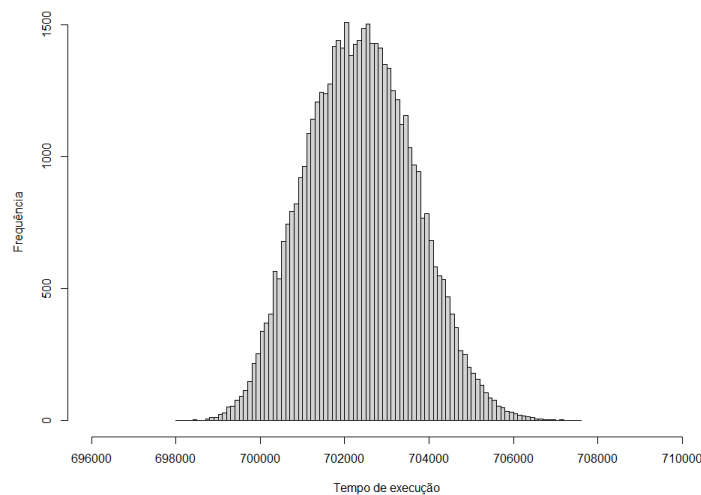
APÊNDICE C – RESULTADOS DO CENÁRIO 2

Resultados da aplicação do método, utilizando o algoritmo lms como tarefa de interesse.

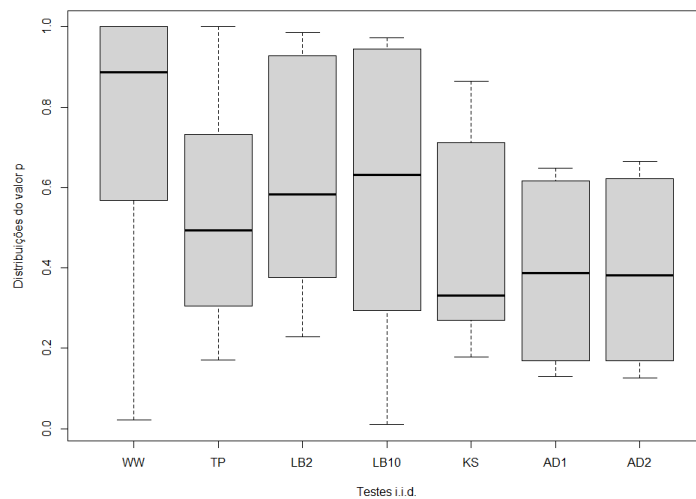
Figura 69 – Amostra 1 - Tarefa lms



a Amostra



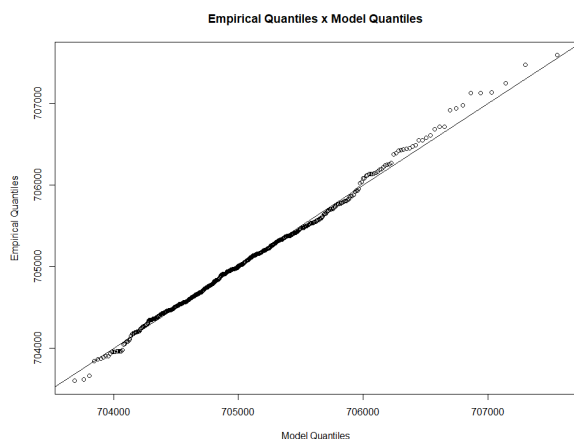
b Histograma



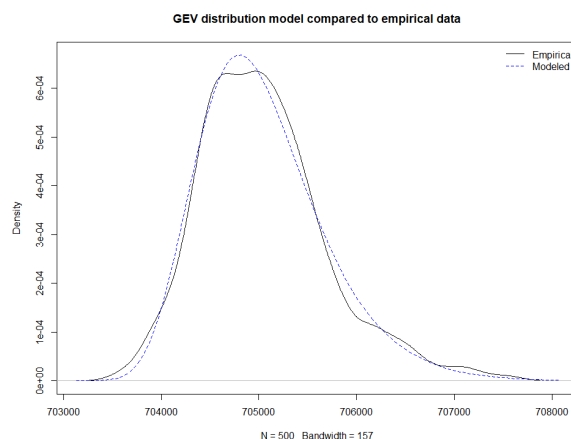
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

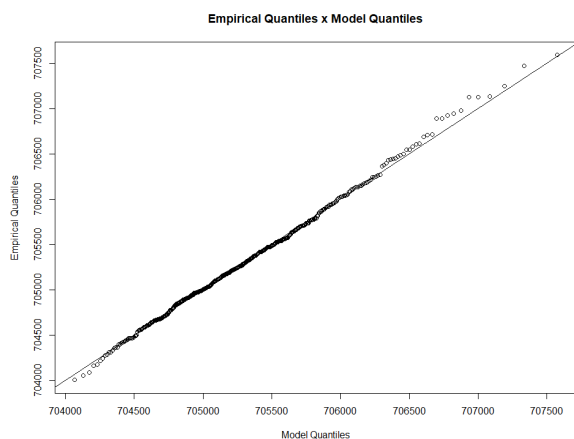
Figura 70 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 1 - Tarefa lms



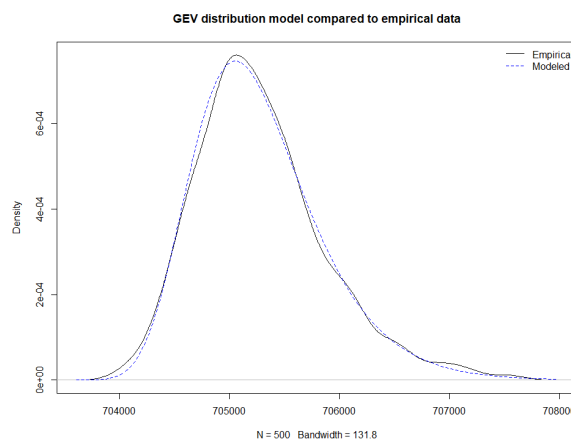
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



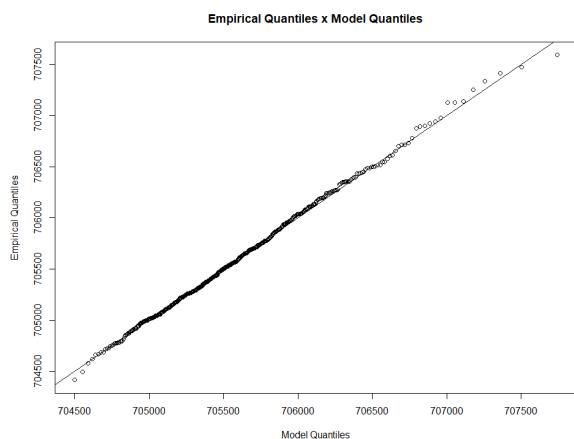
b Curva GEV com bloco 30



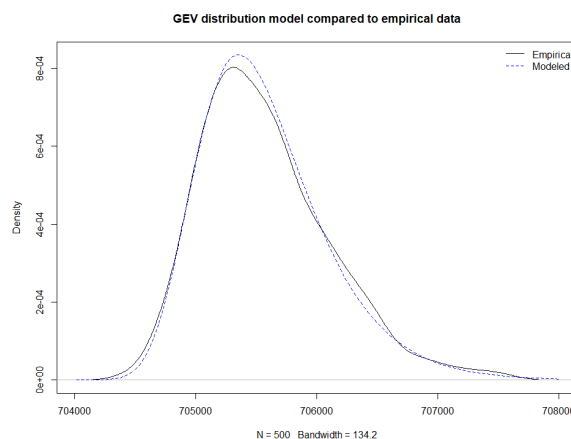
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



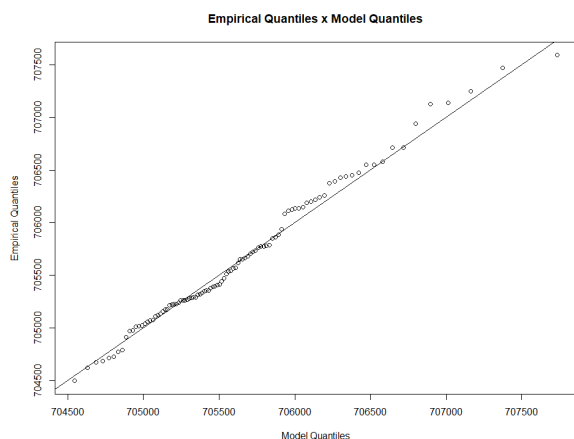
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



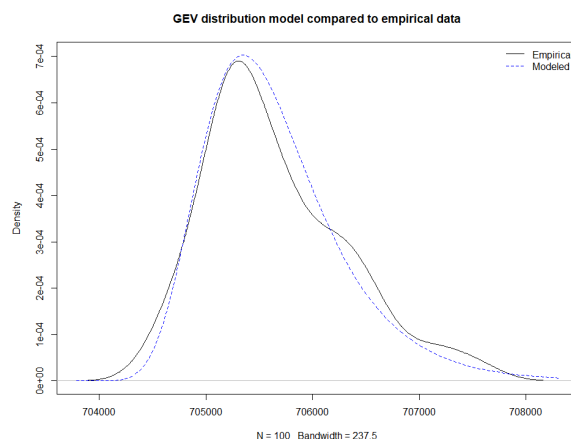
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

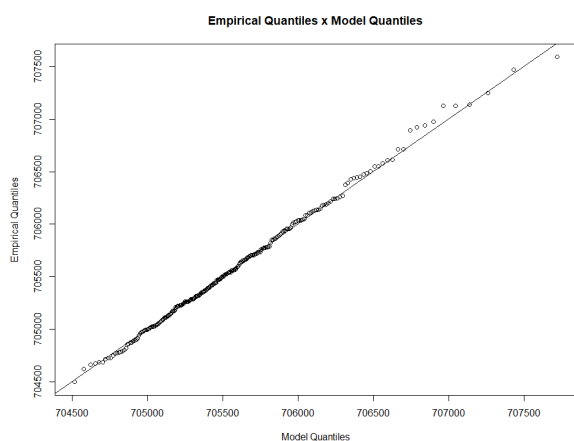
Figura 71 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 1 - Tarefa lms



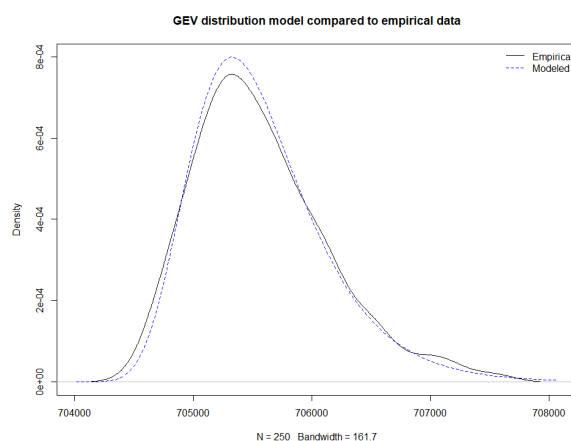
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



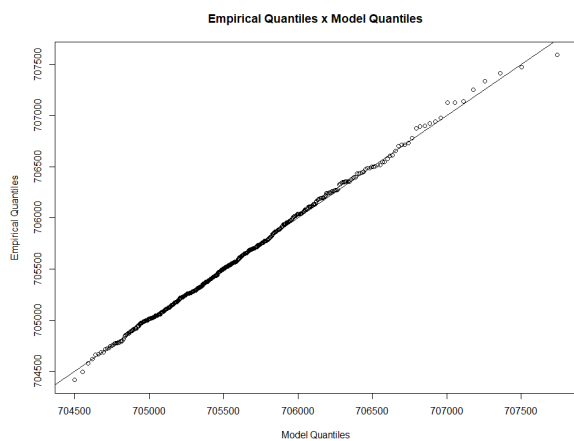
b Curva GEV com 100 blocos



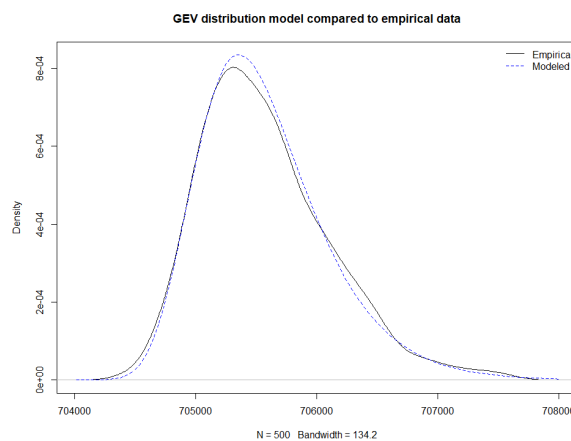
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 66 – Amostra 1 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698085 | 701469 | 702367 | 702387 | 703268 | 707590 | 1269,557 | 1611776 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 67 – Amostra 1 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704707,3480 | 704760,9581 | 704814,5682 |
| | σ | 514,6232 | 551,9631 | 589,3031 |
| | ξ | -0,1234 | -0,0688 | -0,0142 |
| 50 | μ | 704974,1004 | 705022,2556 | 705070,4108 |
| | σ | 460,2099 | 494,0222 | 527,8344 |
| | ξ | -0,1187 | -0,0618 | -0,0048 |
| 100 | μ | 705292,9968 | 705336,3449 | 705379,6931 |
| | σ | 410,1698 | 441,2936 | 472,4174 |
| | ξ | -0,1060 | -0,0433 | 0,0194 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 68 – Amostra 1 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708021,5538 | 709150,1881 | 710278,8223 |
| | 10^{-6} | 708200,0363 | 709682,5122 | 711164,9881 |
| | 10^{-7} | 708295,0748 | 710136,8454 | 711978,6159 |
| | 10^{-8} | 708327,3538 | 710524,6148 | 712721,8758 |
| 50 | 10^{-5} | 707985,9888 | 709092,5679 | 710199,1470 |
| | 10^{-6} | 708145,5287 | 709613,2976 | 711081,0665 |
| | 10^{-7} | 708224,5666 | 710064,9921 | 711905,4176 |
| | 10^{-8} | 708241,7057 | 710456,8044 | 712671,9031 |
| 100 | 10^{-5} | 708090,8182 | 709336,7917 | 710582,7652 |
| | 10^{-6} | 708227,9480 | 709924,1087 | 711620,2694 |
| | 10^{-7} | 708275,1504 | 710455,6699 | 712636,1894 |
| | 10^{-8} | 708248,3308 | 710936,7691 | 713625,2075 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 69 – Amostra 1 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705231,2341 | 705347,7404 | 705464,2468 |
| | σ | 437,5943 | 523,3411 | 609,0878 |
| | ξ | -0,1641 | -0,0051 | 0,1540 |
| 250 | μ | 705252,5725 | 705317,2191 | 705381,8656 |
| | σ | 413,8116 | 460,7074 | 507,6033 |
| | ξ | -0,1159 | -0,0209 | 0,0740 |
| 500 | μ | 705292,9968 | 705336,3449 | 705379,6931 |
| | σ | 410,1698 | 441,2936 | 472,4174 |
| | ξ | -0,1060 | -0,0433 | 0,0194 |

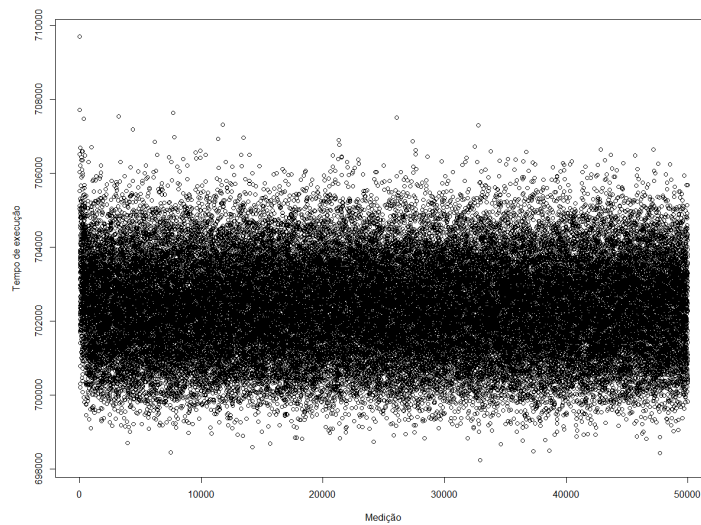
Fonte – Do Autor.

Tabela 70 – Amostra 1 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

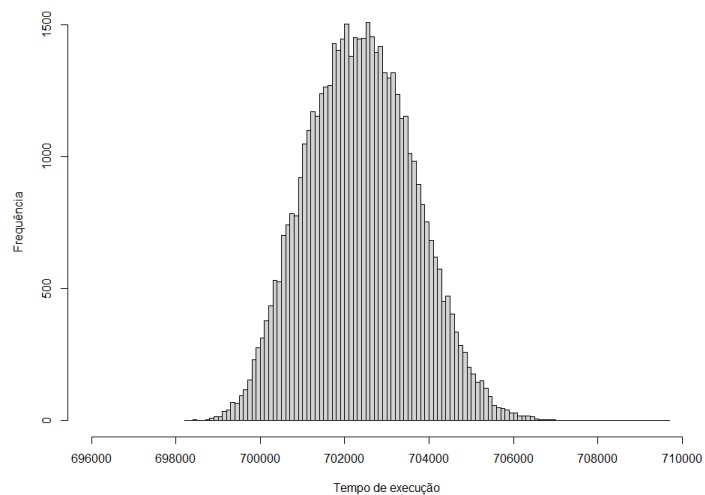
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706174,5978 | 711200,3677 | 716226,1376 |
| | 10^{-6} | 705093,9355 | 712330,4375 | 719566,9394 |
| | 10^{-7} | 703616,0318 | 713447,3830 | 723278,7343 |
| | 10^{-8} | 701750,5205 | 714551,3586 | 727352,1967 |
| 250 | 10^{-5} | 707694,2967 | 710030,4212 | 712366,5457 |
| | 10^{-6} | 707559,7354 | 710844,2317 | 714128,7280 |
| | 10^{-7} | 707261,5797 | 711619,7360 | 715977,8923 |
| | 10^{-8} | 706815,6556 | 712358,7385 | 717901,8213 |
| 500 | 10^{-5} | 708090,8182 | 709336,7917 | 710582,7652 |
| | 10^{-6} | 708227,9480 | 709924,1087 | 711620,2694 |
| | 10^{-7} | 708275,1504 | 710455,6699 | 712636,1894 |
| | 10^{-8} | 708248,3308 | 710936,7691 | 713625,2075 |

Fonte – Do Autor.

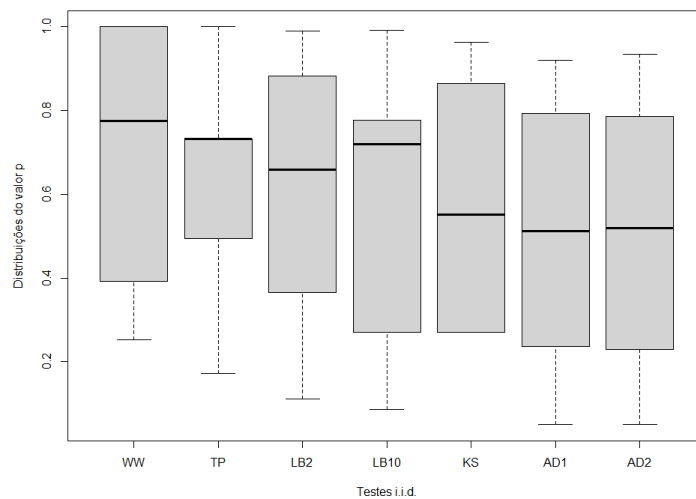
Figura 72 – Amostra 2 - Tarefa lms



a Amostra



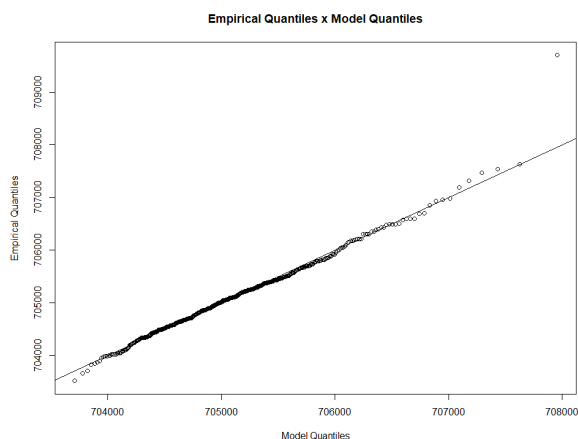
b Histograma



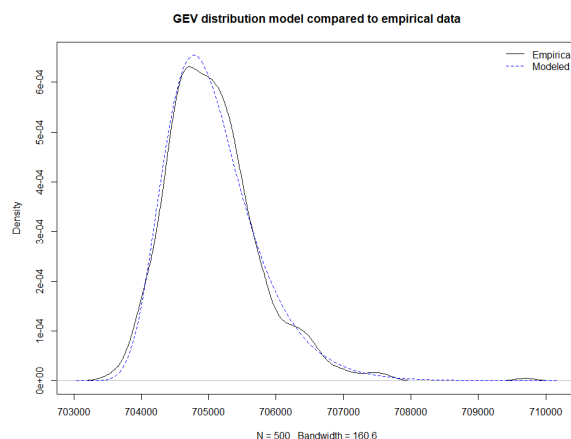
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

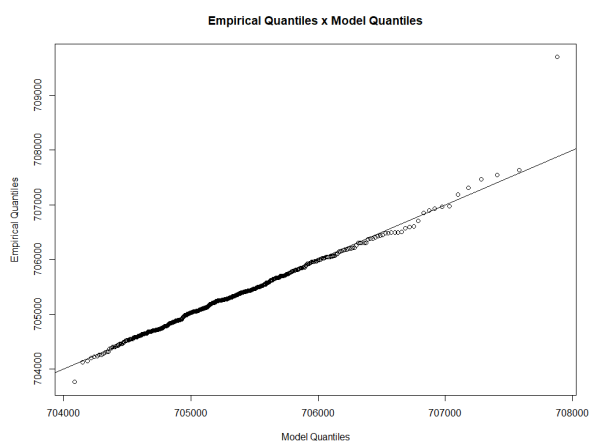
Figura 73 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 2 - Tarefa lms



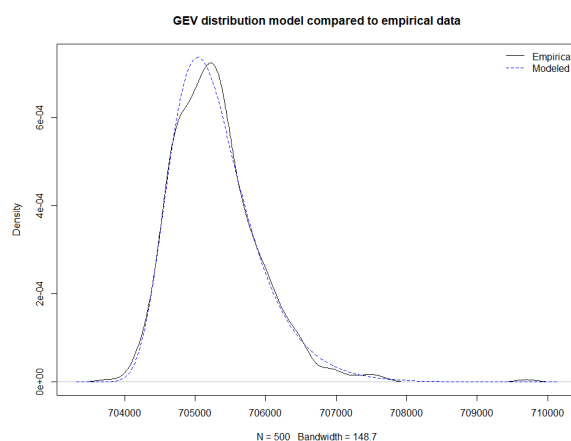
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



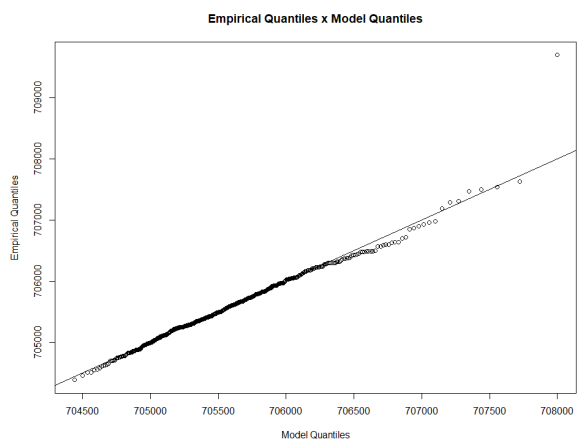
b Curva GEV com bloco 30



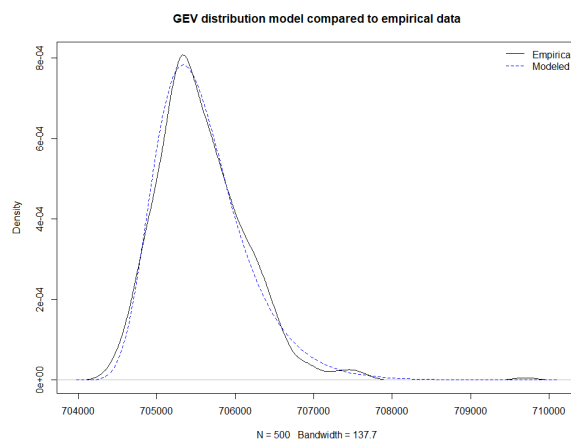
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



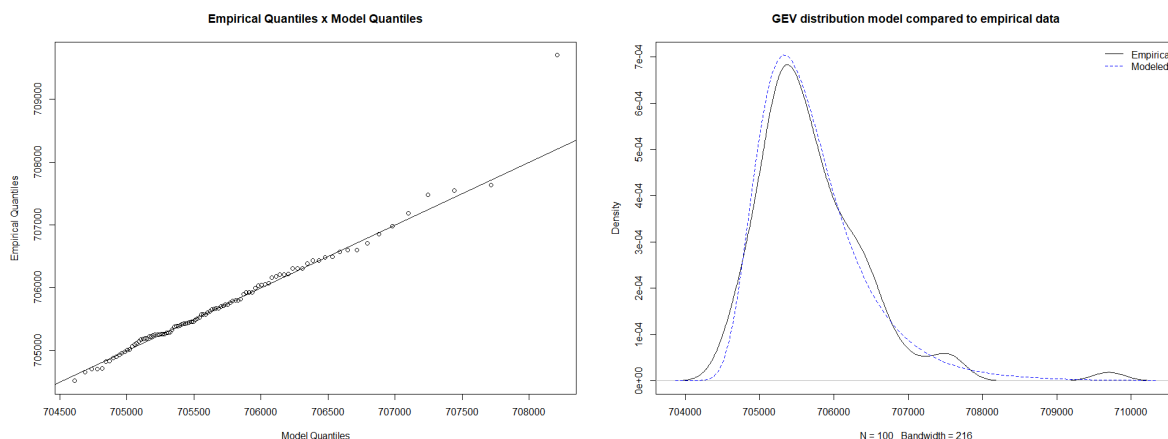
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



f Curva GEV com bloco 100

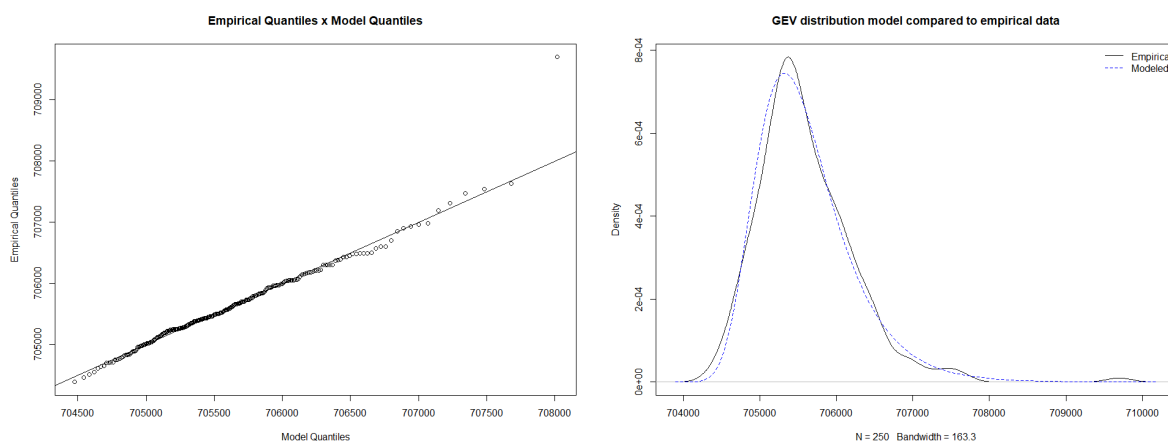
Fonte – Do Autor.

Figura 74 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 2 - Tarefa lms



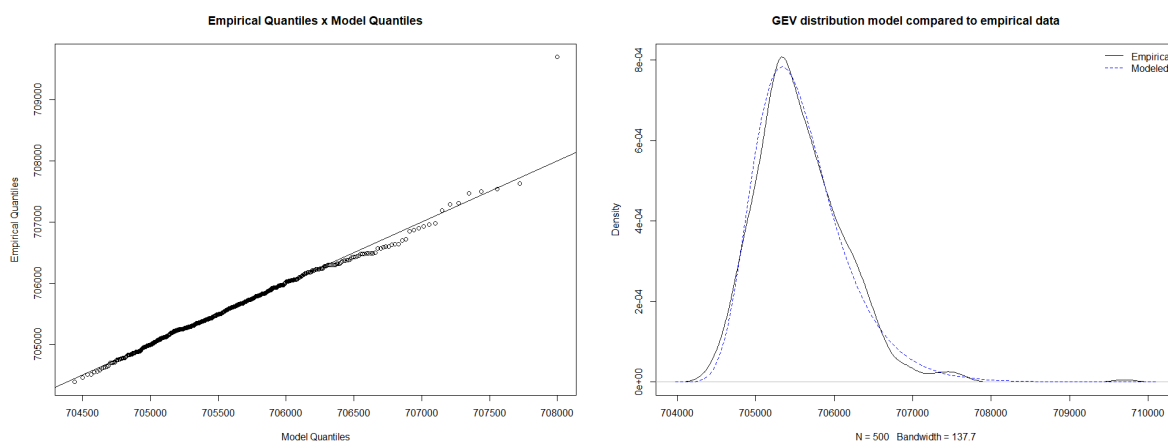
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos

b Curva GEV com 100 blocos



c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos

d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos

f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 71 – Amostra 2 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698246 | 701469 | 702360 | 702385 | 703267 | 709700 | 1271,271 | 1616131 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 72 – Amostra 2 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704708,3507 | 704762,4337 | 704816,5166 |
| | σ | 524,4674 | 562,6099 | 600,7524 |
| | ξ | -0,0783 | -0,0298 | 0,0187 |
| 50 | μ | 704973,0391 | 705020,9033 | 705068,7675 |
| | σ | 465,9216 | 499,4619 | 533,0022 |
| | ξ | -0,0732 | -0,0272 | 0,0187 |
| 100 | μ | 705274,7003 | 705319,8542 | 705365,0080 |
| | σ | 437,4578 | 469,6199 | 501,7819 |
| | ξ | -0,0769 | -0,0283 | 0,0202 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 73 – Amostra 2 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708850,0858 | 710244,8157 | 711639,5457 |
| | 10^{-6} | 709209,0779 | 711132,9714 | 713056,8649 |
| | 10^{-7} | 709451,3307 | 711962,1851 | 714473,0395 |
| | 10^{-8} | 709590,8582 | 712736,3697 | 715881,8812 |
| 50 | 10^{-5} | 708752,9295 | 709957,2301 | 711161,5306 |
| | 10^{-6} | 709107,2225 | 710772,0423 | 712436,8621 |
| | 10^{-7} | 709358,7546 | 711537,3440 | 713715,9334 |
| | 10^{-8} | 709518,7959 | 712256,1447 | 714993,4935 |
| 100 | 10^{-5} | 708759,2943 | 709933,2477 | 711107,2012 |
| | 10^{-6} | 709065,0975 | 710688,6916 | 712312,2856 |
| | 10^{-7} | 709272,2193 | 711396,4209 | 713520,6226 |
| | 10^{-8} | 709391,9941 | 712059,4506 | 714726,9071 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 74 – Amostra 2 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705253,4994 | 705368,3664 | 705483,2333 |
| | σ | 439,7591 | 523,4381 | 607,1170 |
| | ξ | -0,0648 | 0,0687 | 0,2023 |
| 250 | μ | 705253,4830 | 705320,8530 | 705388,2230 |
| | σ | 445,6727 | 493,3567 | 541,0407 |
| | ξ | -0,0747 | -0,0040 | 0,0666 |
| 500 | μ | 705274,7003 | 705319,8542 | 705365,0080 |
| | σ | 437,4578 | 469,6199 | 501,7819 |
| | ξ | -0,0769 | -0,0283 | 0,0202 |

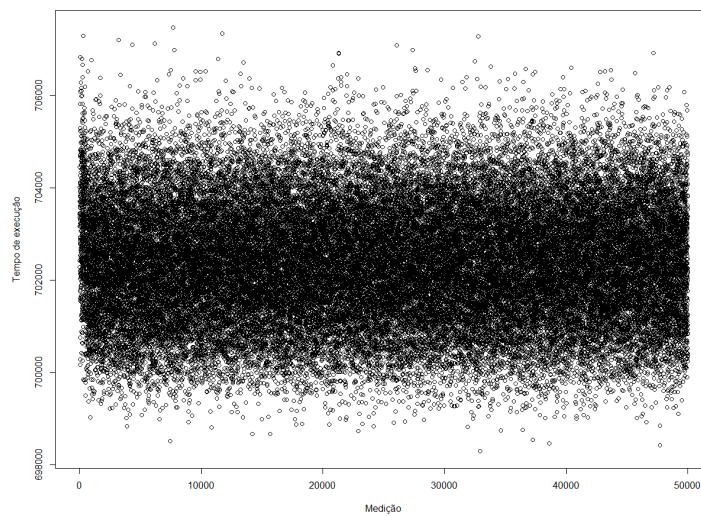
Fonte – Do Autor.

Tabela 75 – Amostra 2 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

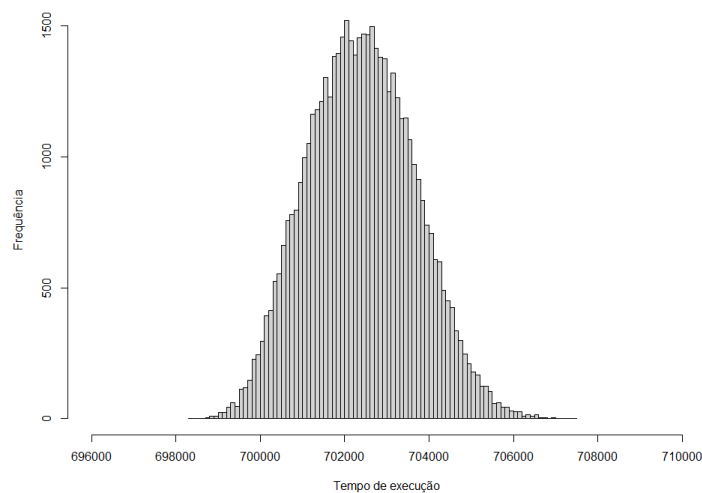
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706707,0224 | 714555,6730 | 722404,3237 |
| | 10^{-6} | 704773,3349 | 717437,2455 | 730101,1560 |
| | 10^{-7} | 701469,6055 | 720813,0190 | 740156,4324 |
| | 10^{-8} | 696383,3053 | 724767,7567 | 753152,2081 |
| 250 | 10^{-5} | 708688,8866 | 710871,0236 | 713053,1606 |
| | 10^{-6} | 708825,2241 | 711950,4795 | 715075,7348 |
| | 10^{-7} | 708785,8391 | 713019,9589 | 717254,0787 |
| | 10^{-8} | 708574,1338 | 714079,5558 | 719584,9778 |
| 500 | 10^{-5} | 708759,2943 | 709933,2477 | 711107,2012 |
| | 10^{-6} | 709065,0975 | 710688,6916 | 712312,2856 |
| | 10^{-7} | 709272,2193 | 711396,4209 | 713520,6226 |
| | 10^{-8} | 709391,9941 | 712059,4506 | 714726,9071 |

Fonte – Do Autor.

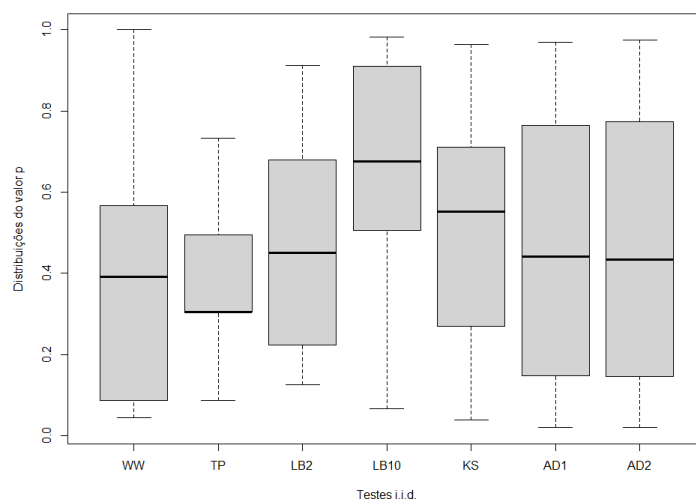
Figura 75 – Amostra 3 - Tarefa lms



a Amostra



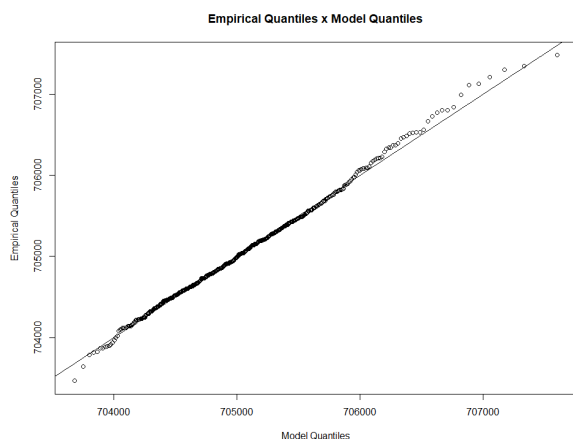
b Histograma



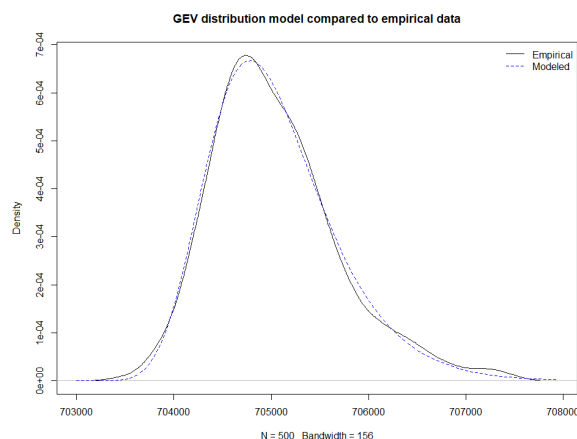
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

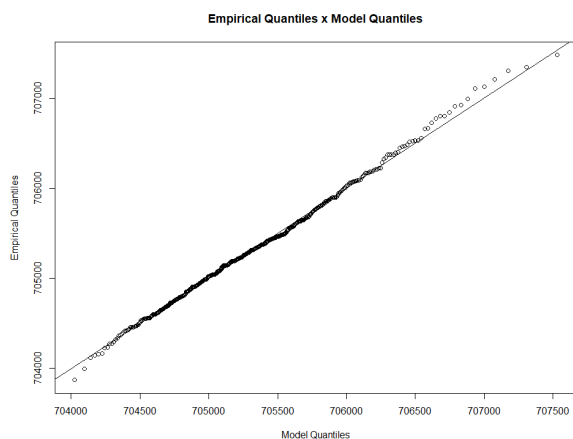
Figura 76 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 3 - Tarefa lms



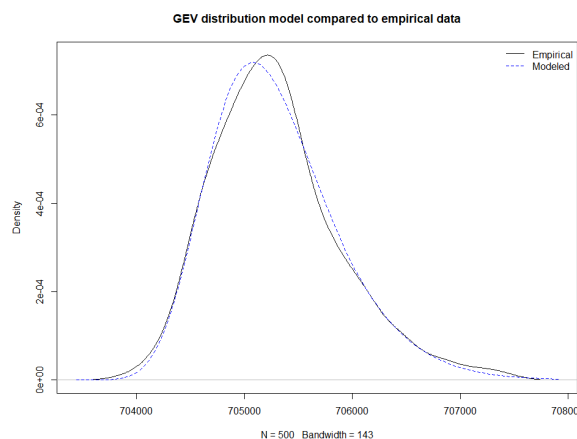
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



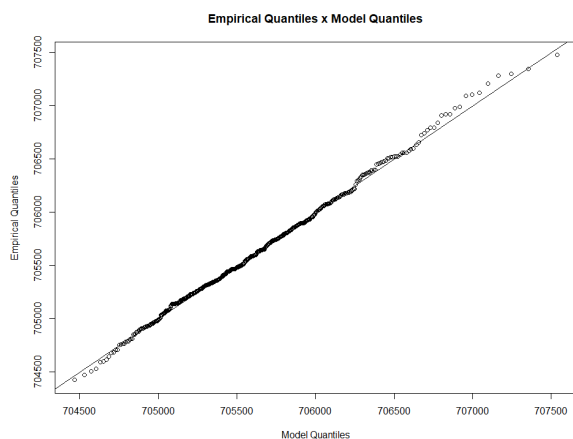
b Curva GEV com bloco 30



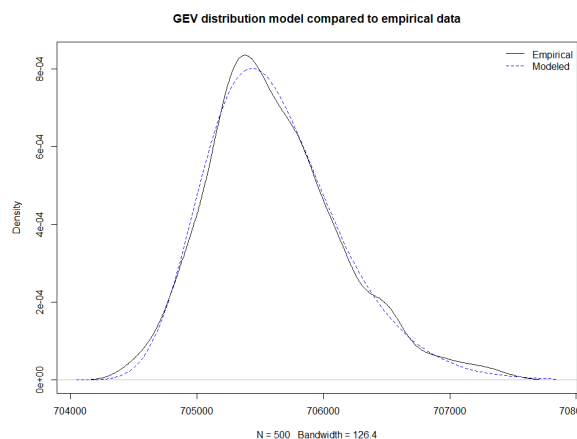
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



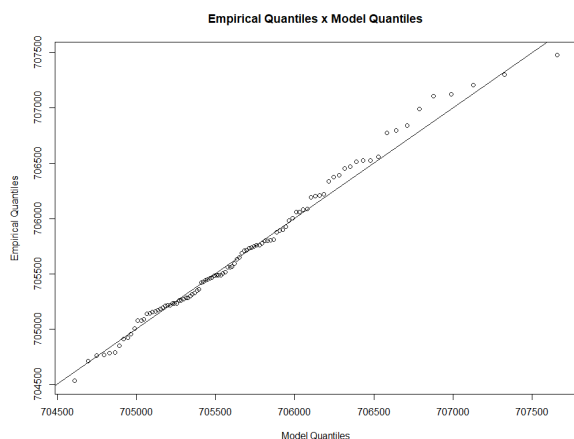
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



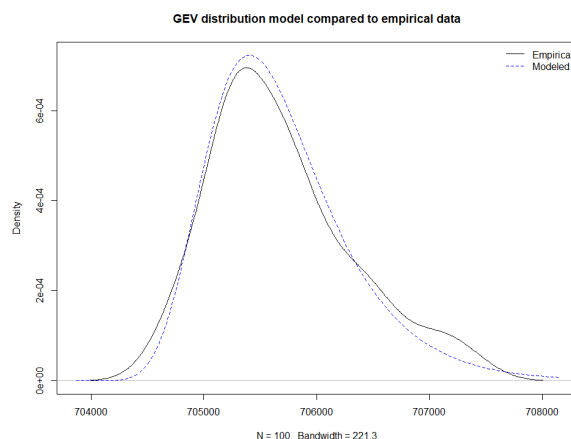
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

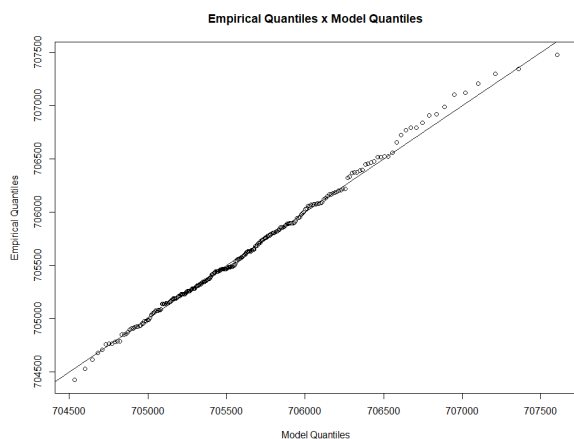
Figura 77 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 3 - Tarefa lms



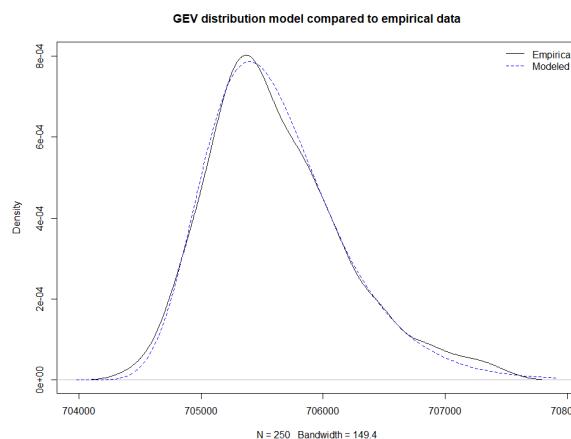
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



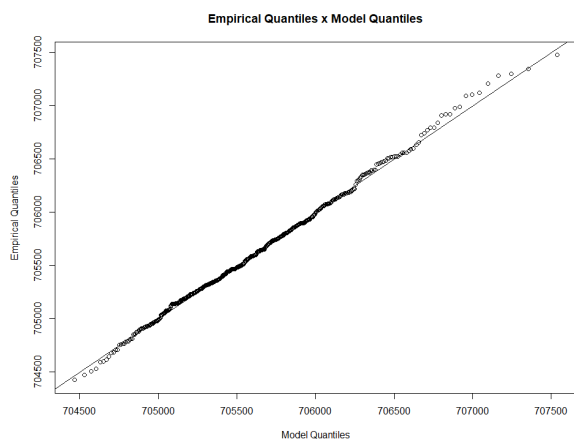
b Curva GEV com 100 blocos



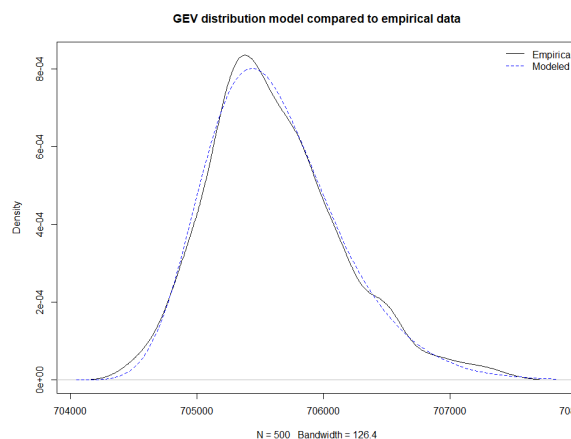
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 76 – Amostra 3 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698301 | 701478 | 702378 | 702397 | 703278 | 707477 | 1269,693 | 1612121 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 77 – Amostra 3 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704695,0754 | 704748,7298 | 704802,3842 |
| | σ | 514,8390 | 552,6452 | 590,4513 |
| | ξ | -0,1184 | -0,0621 | -0,0059 |
| 50 | μ | 704986,6494 | 705036,5288 | 705086,4083 |
| | σ | 478,3002 | 513,3724 | 548,4445 |
| | ξ | -0,1395 | -0,0830 | -0,0266 |
| 100 | μ | 705344,6228 | 705389,5000 | 705434,3773 |
| | σ | 429,9542 | 461,5005 | 493,0468 |
| | ξ | -0,1552 | -0,0981 | -0,0411 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 78 – Amostra 3 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708069,5544 | 709293,2413 | 710516,9282 |
| | 10^{-6} | 708251,5838 | 709872,9644 | 711494,3451 |
| | 10^{-7} | 708344,0897 | 710375,3903 | 712406,6910 |
| | 10^{-8} | 708367,7768 | 710810,8262 | 713253,8755 |
| 50 | 10^{-5} | 707871,4904 | 708842,1693 | 709812,8482 |
| | 10^{-6} | 708002,1544 | 709255,7652 | 710509,3759 |
| | 10^{-7} | 708065,5852 | 709597,3768 | 711129,1685 |
| | 10^{-8} | 708081,2805 | 709879,5333 | 711677,7862 |
| 100 | 10^{-5} | 707786,7583 | 708572,8145 | 709358,8706 |
| | 10^{-6} | 707882,4825 | 708880,1219 | 709877,7612 |
| | 10^{-7} | 707926,5925 | 709125,2751 | 710323,9577 |
| | 10^{-8} | 707936,0921 | 709320,8456 | 710705,5990 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 79 – Amostra 3 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705284,3493 | 705397,2373 | 705510,1253 |
| | σ | 425,9711 | 508,9398 | 591,9086 |
| | ξ | -0,1738 | -0,0167 | 0,1404 |
| 250 | μ | 705306,9841 | 705371,8495 | 705436,7150 |
| | σ | 422,1195 | 468,4508 | 514,7821 |
| | ξ | -0,1420 | -0,0549 | 0,0322 |
| 500 | μ | 705344,6228 | 705389,5 | 705434,3773 |
| | σ | 429,9542 | 461,5005 | 493,0468 |
| | ξ | -0,1552 | -0,0981 | -0,0411 |

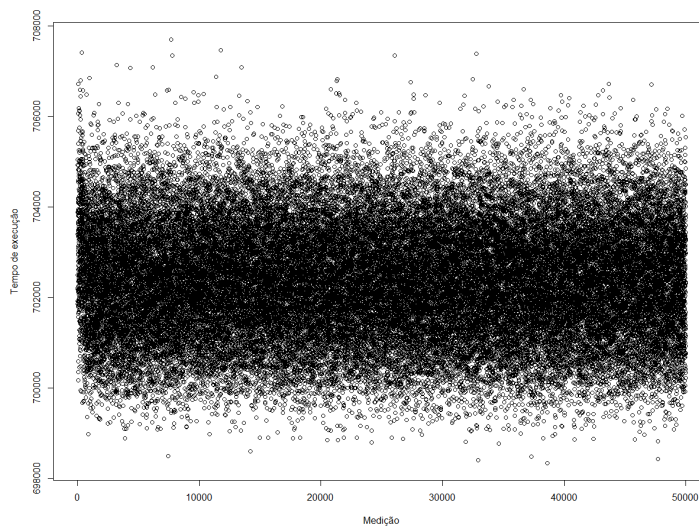
Fonte – Do Autor.

Tabela 80 – Amostra 3 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

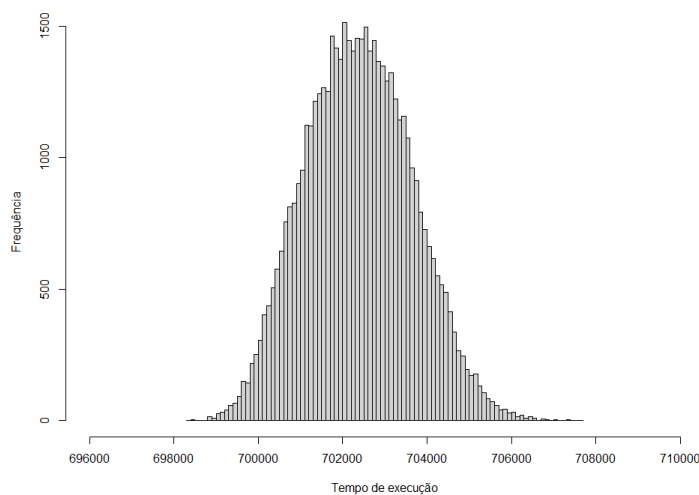
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706324,0232 | 710728,6392 | 715133,2552 |
| | 10^{-6} | 705443,2126 | 711677,5392 | 717911,8658 |
| | 10^{-7} | 704264,7092 | 712590,7034 | 720916,6976 |
| 250 | 10^{-5} | 707685,0146 | 709368,9829 | 711052,9512 |
| | 10^{-6} | 707651,1864 | 709907,3542 | 712163,5220 |
| | 10^{-7} | 707526,0373 | 710381,7666 | 713237,4958 |
| | 10^{-8} | 707331,8295 | 710799,8190 | 714267,8086 |
| 500 | 10^{-5} | 707786,7583 | 708572,8145 | 709358,8706 |
| | 10^{-6} | 707882,4825 | 708880,1219 | 709877,7612 |
| | 10^{-7} | 707926,5925 | 709125,2751 | 710323,9577 |
| | 10^{-8} | 707936,0921 | 709320,8456 | 710705,5990 |

Fonte – Do Autor.

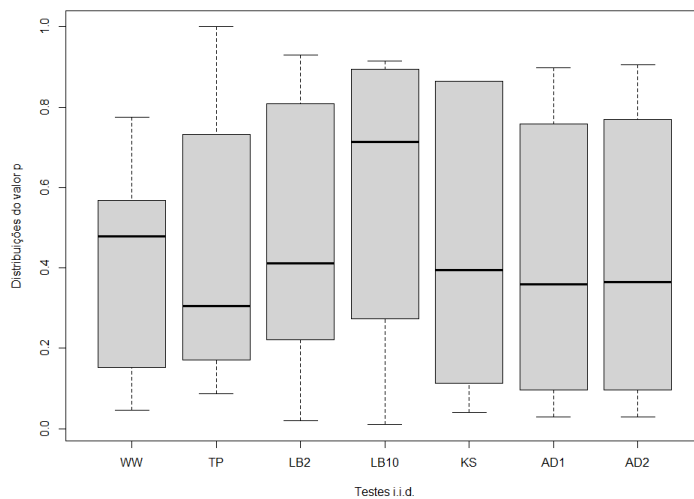
Figura 78 – Amostra 4 - Tarefa lms



a Amostra



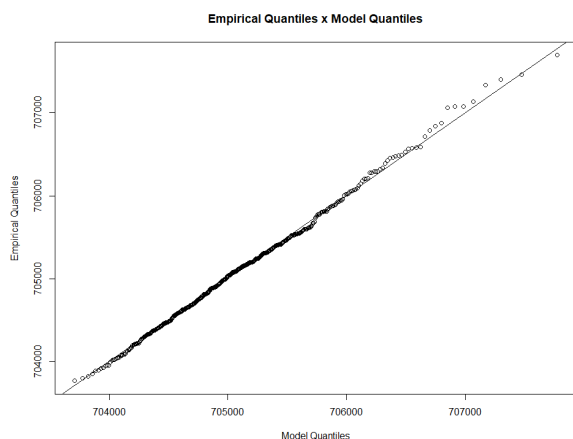
b Histograma



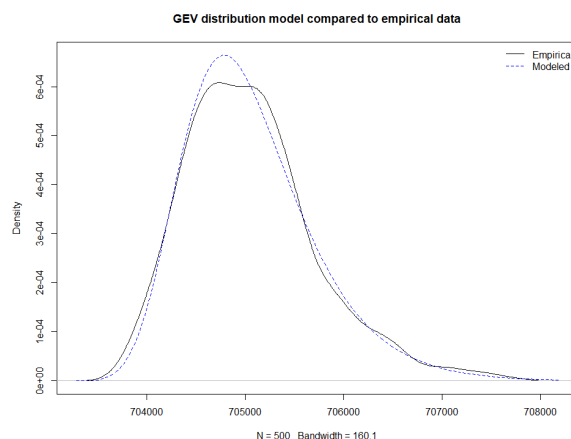
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

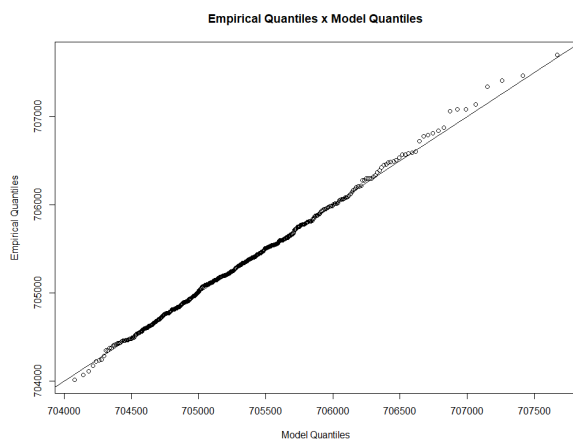
Figura 79 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 4 - Tarefa lms



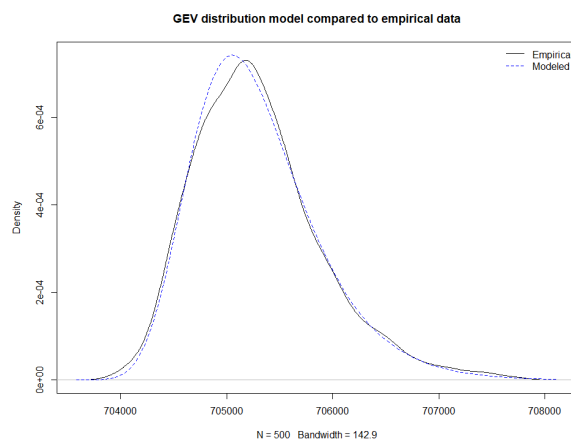
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



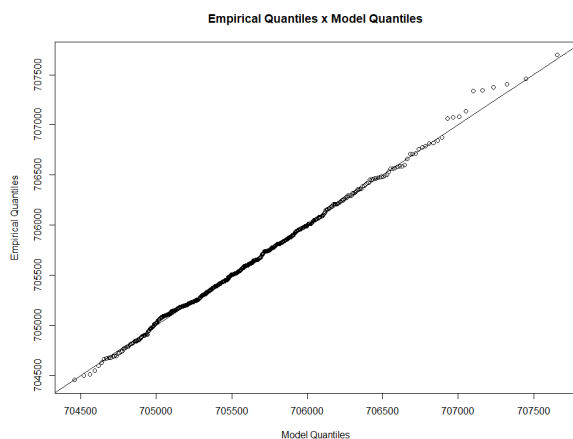
b Curva GEV com bloco 30



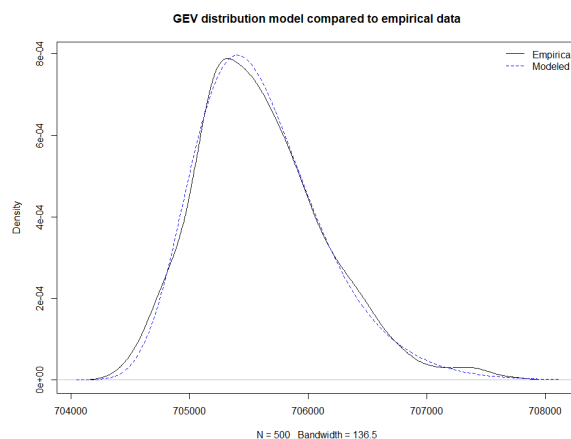
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



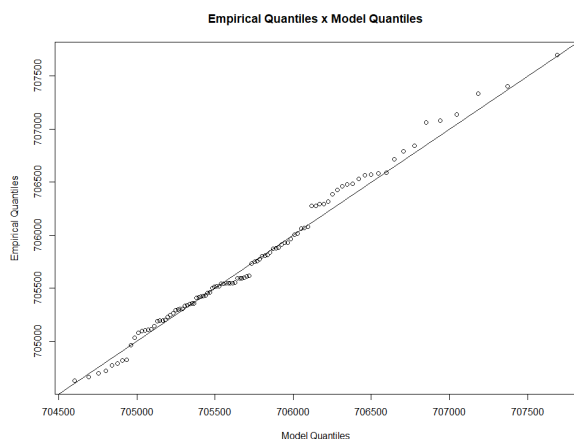
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



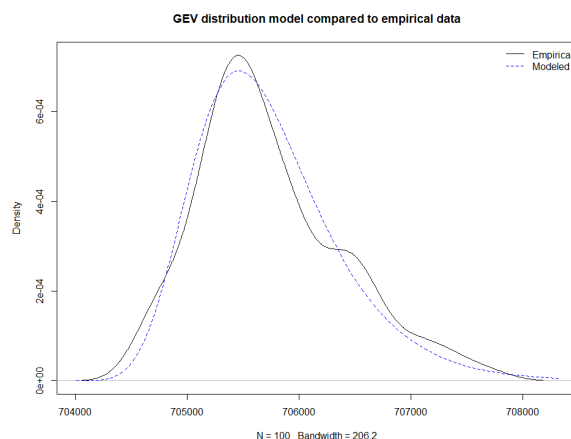
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

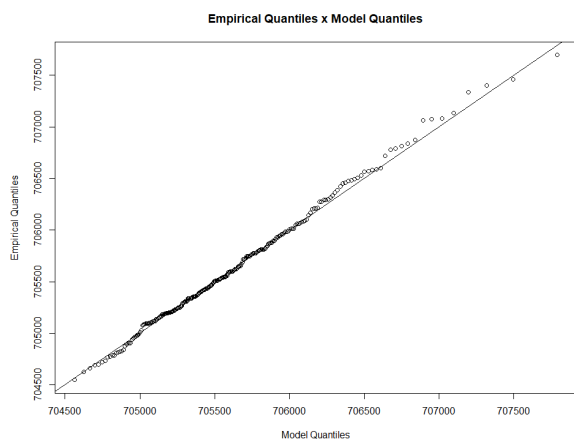
Figura 80 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 4 - Tarefa lms



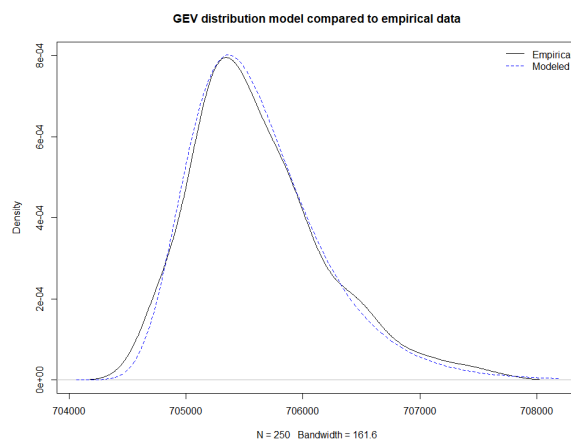
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



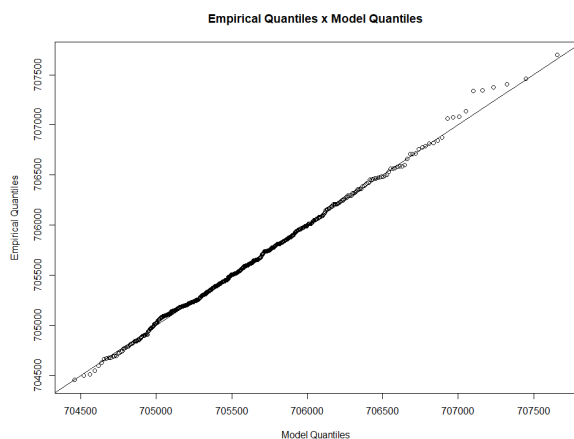
b Curva GEV com 100 blocos



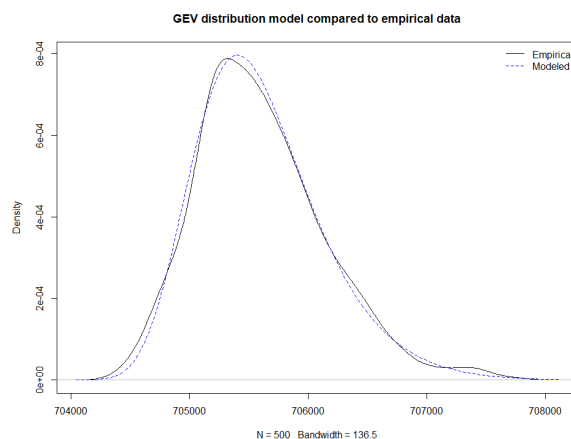
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 81 – Amostra 4 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698337 | 701467 | 702365 | 702385 | 703269 | 707696 | 1270,116 | 1613194 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 82 – Amostra 4 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704705,2938 | 704759,7230 | 704814,1522 |
| | σ | 515,5339 | 554,4526 | 593,3713 |
| | ξ | -0,1055 | -0,0439 | 0,0177 |
| 50 | μ | 704979,4956 | 705028,0266 | 705076,5576 |
| | σ | 462,1220 | 496,5172 | 530,9123 |
| | ξ | -0,1103 | -0,0515 | 0,0073 |
| 100 | μ | 705321,1451 | 705366,3339 | 705411,5227 |
| | σ | 431,1934 | 463,0357 | 494,8780 |
| | ξ | -0,1348 | -0,0769 | -0,0190 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 83 – Amostra 4 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708235,7760 | 709770,2781 | 711304,7802 |
| | 10^{-6} | 708416,1974 | 710502,6837 | 712589,1699 |
| | 10^{-7} | 708485,1073 | 711164,6549 | 713844,2025 |
| | 10^{-8} | 708462,3694 | 711762,9664 | 715063,5633 |
| 50 | 10^{-5} | 708101,2242 | 709340,9946 | 710580,7649 |
| | 10^{-6} | 708269,4493 | 709937,0818 | 711604,7143 |
| | 10^{-7} | 708347,0229 | 710466,5466 | 712586,0704 |
| | 10^{-8} | 708352,1773 | 710936,8360 | 713521,4948 |
| 100 | 10^{-5} | 707965,9516 | 708902,7009 | 709839,4503 |
| | 10^{-6} | 708085,8658 | 709305,6309 | 710525,3961 |
| | 10^{-7} | 708141,2128 | 709643,1427 | 711145,0726 |
| | 10^{-8} | 708149,8484 | 709925,8578 | 711701,8671 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 84 – Amostra 4 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705323,1107 | 705441,2954 | 705559,4801 |
| | σ | 447,6292 | 533,1178 | 618,6063 |
| | ξ | -0,1915 | -0,0396 | 0,1124 |
| 250 | μ | 705293,7832 | 705357,8646 | 705421,9461 |
| | σ | 412,9511 | 459,1445 | 505,3378 |
| | ξ | -0,1068 | -0,0154 | 0,0759 |
| 500 | μ | 705321,1451 | 705366,3339 | 705411,5227 |
| | σ | 431,1934 | 463,0357 | 494,8780 |
| | ξ | -0,1348 | -0,0769 | -0,0190 |

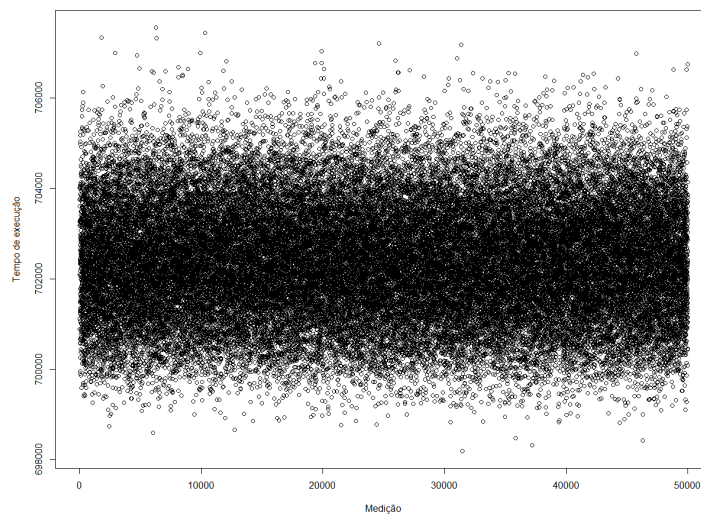
Fonte – Do Autor.

Tabela 85 – Amostra 4 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

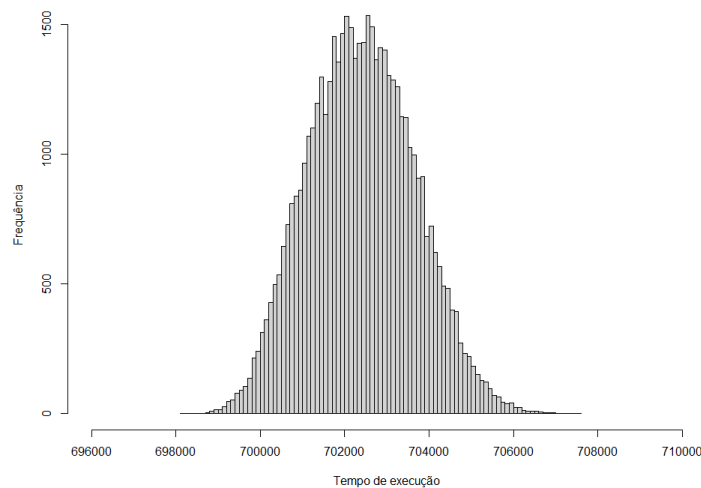
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706638,5637 | 710371,0293 | 714103,4948 |
| | 10^{-6} | 706000,5472 | 711114,9605 | 716229,3738 |
| | 10^{-7} | 705180,0504 | 711794,0983 | 718408,1463 |
| | 10^{-8} | 704213,8801 | 712414,0871 | 720614,2941 |
| 250 | 10^{-5} | 707853,9094 | 710200,5304 | 712547,1515 |
| | 10^{-6} | 707747,1902 | 711069,9290 | 714392,6677 |
| | 10^{-7} | 707467,4127 | 711908,9427 | 716350,4726 |
| | 10^{-8} | 707026,9361 | 712718,6348 | 718410,3334 |
| 500 | 10^{-5} | 707965,9516 | 708902,7009 | 709839,4503 |
| | 10^{-6} | 708085,8658 | 709305,6309 | 710525,3961 |
| | 10^{-7} | 708141,2128 | 709643,1427 | 711145,0726 |
| | 10^{-8} | 708149,8484 | 709925,8578 | 711701,8671 |

Fonte – Do Autor.

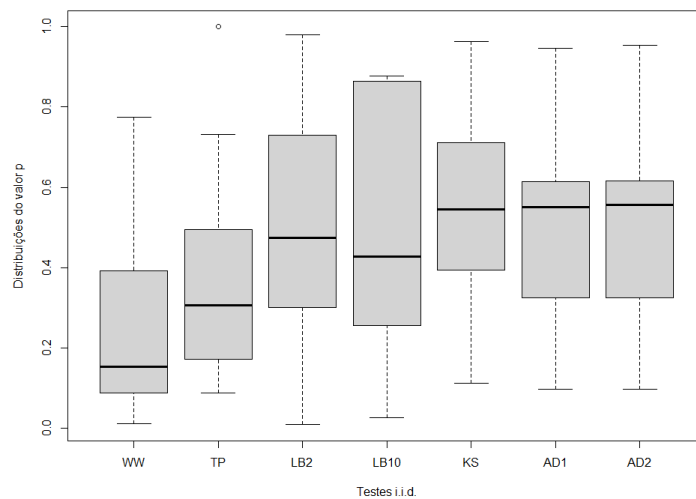
Figura 81 – Amostra 5 - Tarefa lms



a Amostra



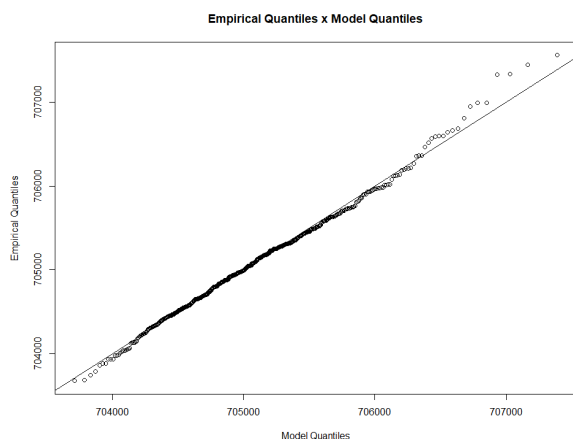
b Histograma



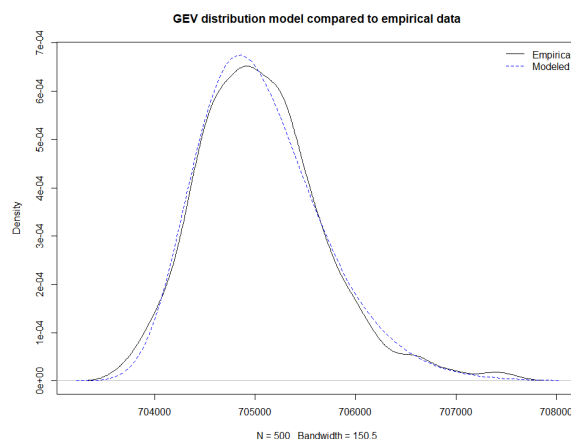
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

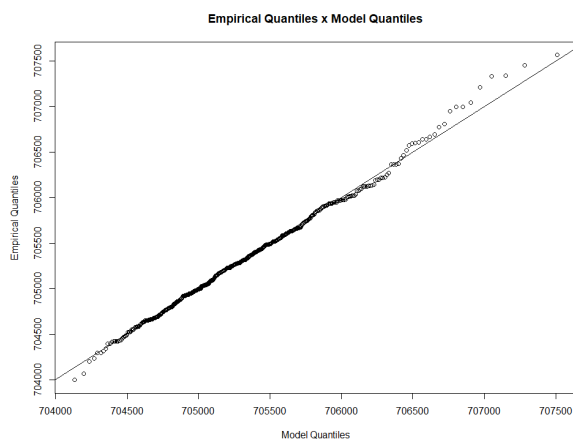
Figura 82 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 5 - Tarefa lms



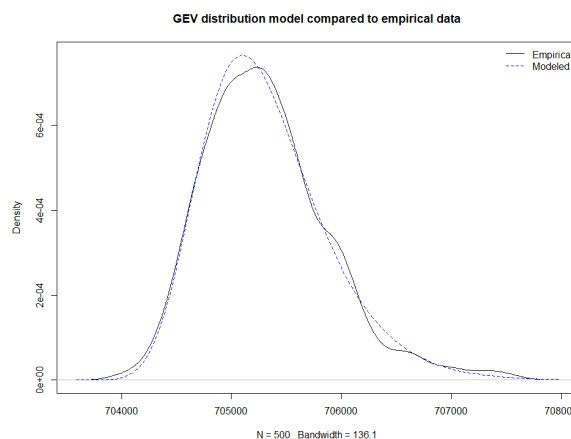
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



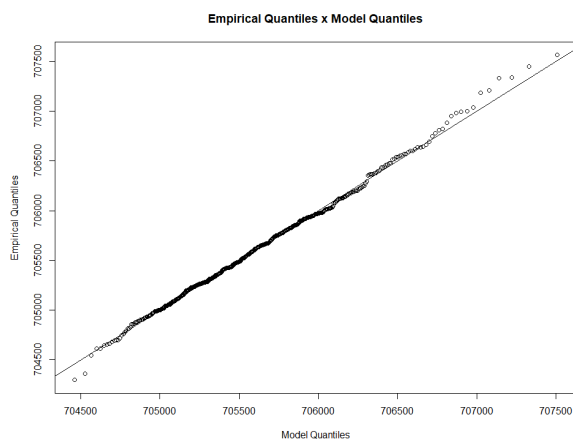
b Curva GEV com bloco 30



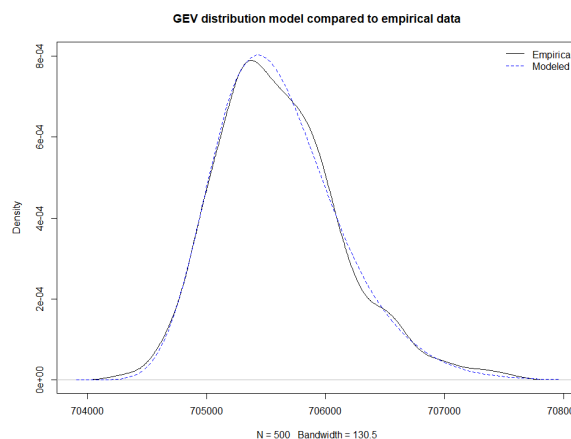
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



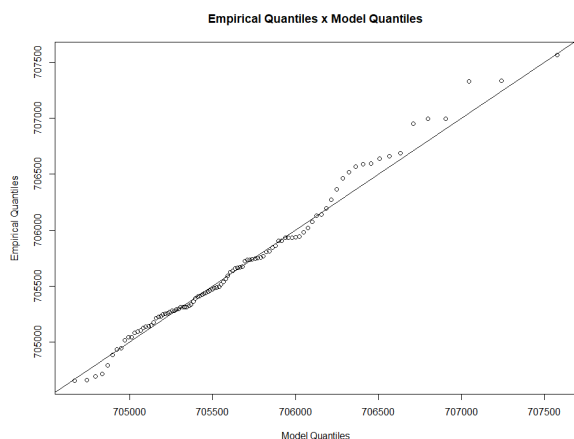
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



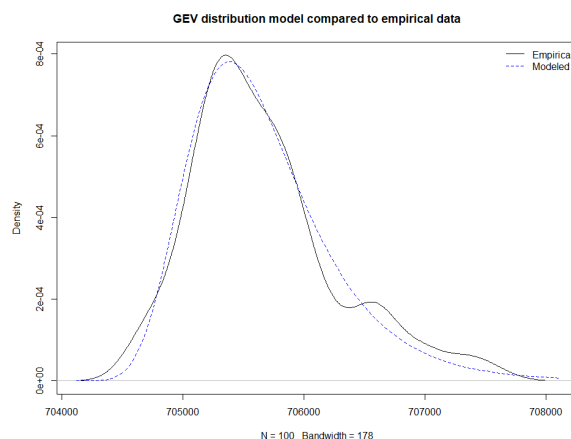
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

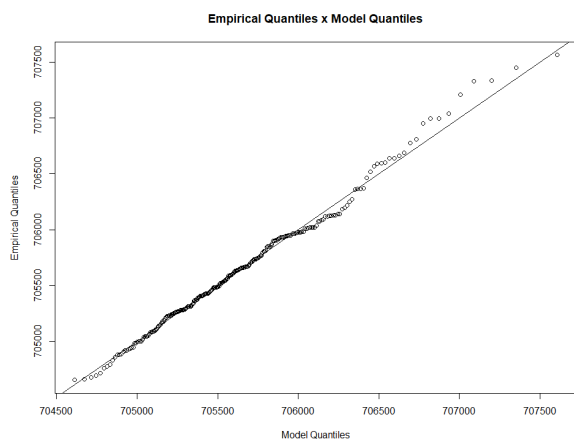
Figura 83 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 5 - Tarefa lms



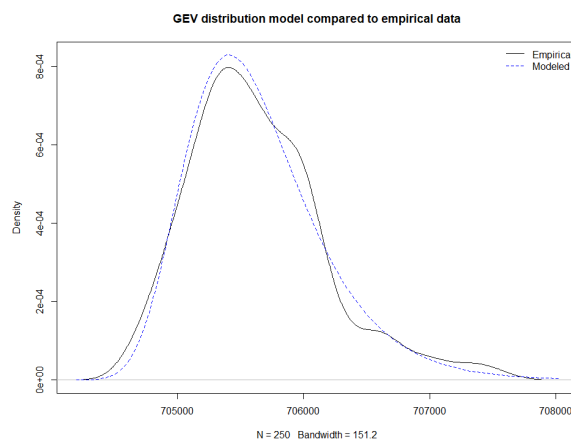
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



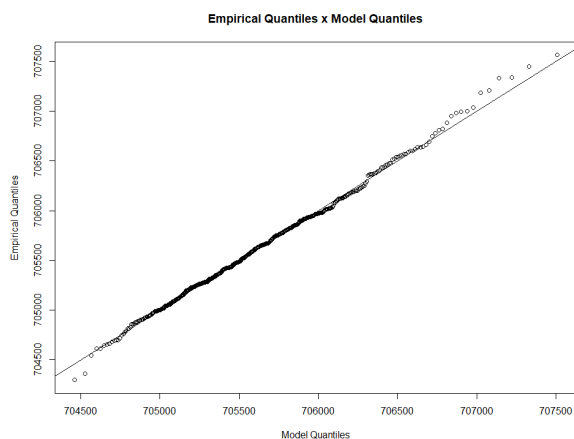
b Curva GEV com 100 blocos



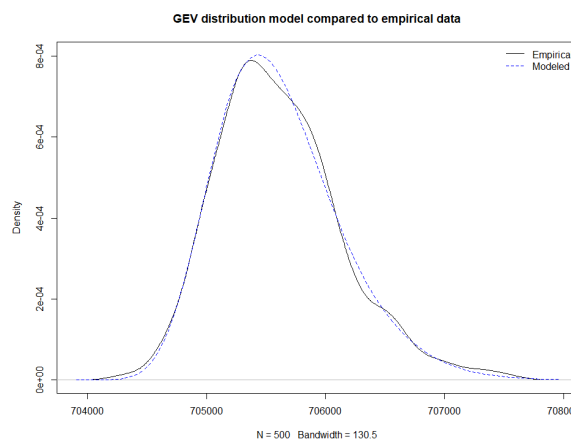
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 86 – Amostra 5 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698190 | 701487 | 702384 | 702405 | 703282 | 707563 | 1266,454 | 1603905 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 87 – Amostra 5 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704744,2727 | 704797,2049 | 704850,1371 |
| | σ | 510,8559 | 547,4918 | 584,1276 |
| | ξ | -0,1436 | -0,0921 | -0,0406 |
| 50 | μ | 705022,7341 | 705069,4846 | 705116,2351 |
| | σ | 448,6143 | 481,4516 | 514,2889 |
| | ξ | -0,1234 | -0,0683 | -0,0131 |
| 100 | μ | 705341,2377 | 705385,8262 | 705430,4147 |
| | σ | 429,5173 | 460,6400 | 491,7626 |
| | ξ | -0,1560 | -0,1020 | -0,0480 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 88 – Amostra 5 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 707797,2217 | 708682,5254 | 709567,8291 |
| | 10^{-6} | 707946,2454 | 709075,8400 | 710205,4347 |
| | 10^{-7} | 708028,9976 | 709393,9797 | 710758,9618 |
| | 10^{-8} | 708065,4217 | 709651,3132 | 711237,2046 |
| 50 | 10^{-5} | 707913,0395 | 708908,5136 | 709903,9878 |
| | 10^{-6} | 708067,2264 | 709376,0577 | 710684,8890 |
| | 10^{-7} | 708148,1531 | 709775,6051 | 711403,0571 |
| | 10^{-8} | 708173,9250 | 710117,0455 | 712060,1659 |
| 100 | 10^{-5} | 707782,6992 | 708506,2709 | 709229,8427 |
| | 10^{-6} | 707884,9668 | 708798,3929 | 709711,8191 |
| | 10^{-7} | 707937,0868 | 709029,3660 | 710121,6451 |
| | 10^{-8} | 707955,6131 | 709211,9905 | 710468,3678 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 89 – Amostra 5 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705282,2513 | 705386,0642 | 705489,8771 |
| | σ | 396,4111 | 470,8207 | 545,2303 |
| | ξ | -0,1387 | 0,0038 | 0,1462 |
| 250 | μ | 705332,7660 | 705394,1777 | 705455,5893 |
| | σ | 399,3819 | 443,4848 | 487,5876 |
| | ξ | -0,1238 | -0,0375 | 0,0488 |
| 500 | μ | 705341,2377 | 705385,8262 | 705430,4147 |
| | σ | 429,5173 | 460,6400 | 491,7626 |
| | ξ | -0,1560 | -0,1020 | -0,0480 |

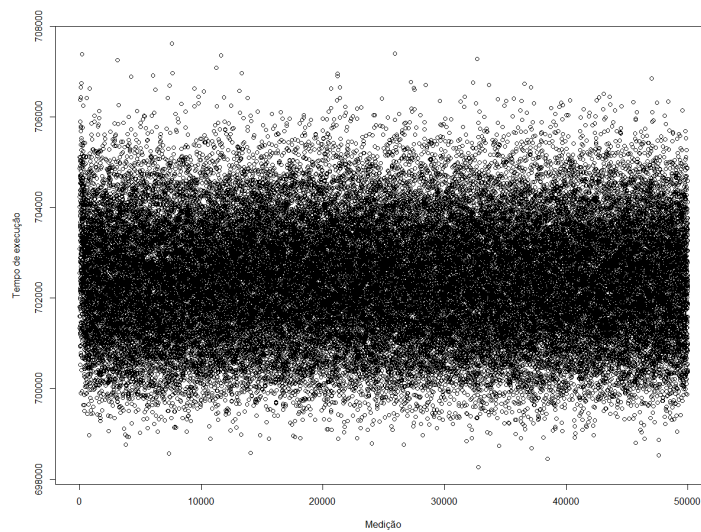
Fonte – Do Autor.

Tabela 90 – Amostra 5 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

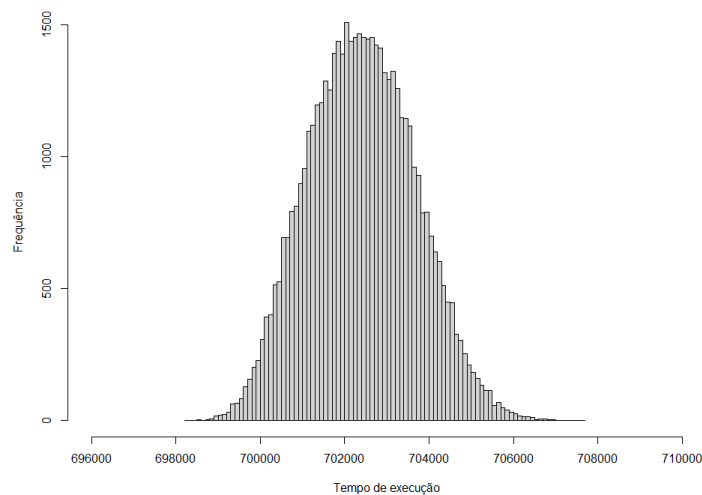
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706536,8471 | 710926,6172 | 715316,3874 |
| | 10^{-6} | 705672,8786 | 712064,0459 | 718455,2132 |
| | 10^{-7} | 704424,3541 | 713211,4449 | 721998,5358 |
| | 10^{-8} | 702784,8560 | 714368,9034 | 725952,9509 |
| 250 | 10^{-5} | 707732,5320 | 709540,1754 | 711347,8188 |
| | 10^{-6} | 707696,4895 | 710175,2943 | 712654,0991 |
| | 10^{-7} | 707547,3894 | 710757,8419 | 713968,2944 |
| | 10^{-8} | 707304,2969 | 711292,1706 | 715280,0443 |
| 500 | 10^{-5} | 707782,6992 | 708506,2709 | 709229,8427 |
| | 10^{-6} | 707884,9668 | 708798,3929 | 709711,8191 |
| | 10^{-7} | 707937,0868 | 709029,3660 | 710121,6451 |
| | 10^{-8} | 707955,6131 | 709211,9905 | 710468,3678 |

Fonte – Do Autor.

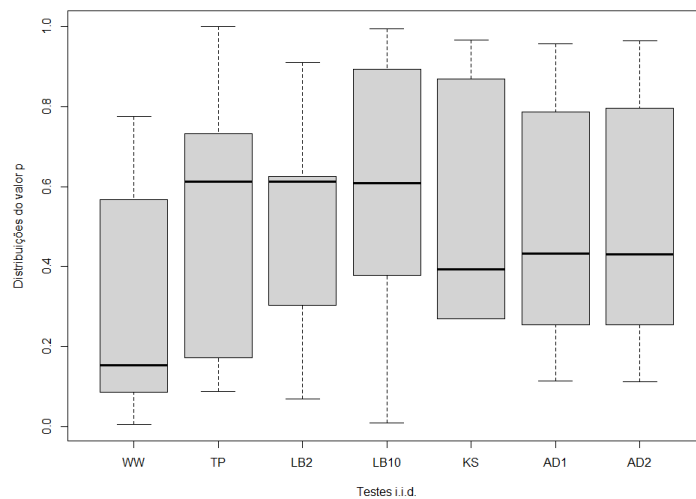
Figura 84 – Amostra 6 - Tarefa lms



a Amostra



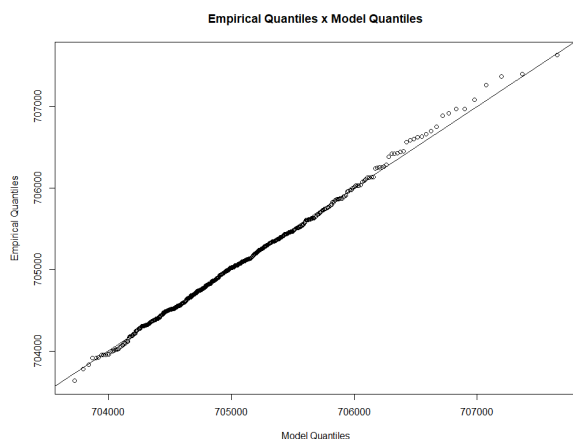
b Histograma



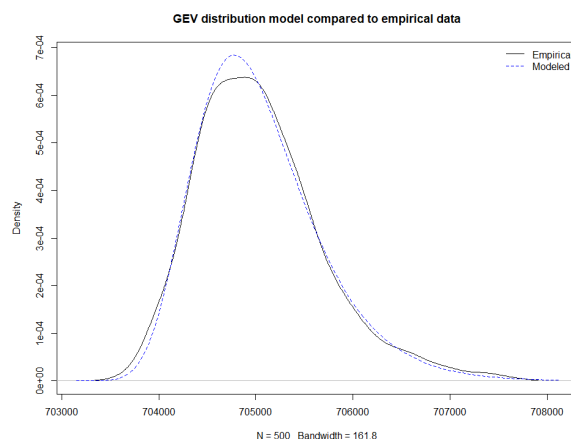
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

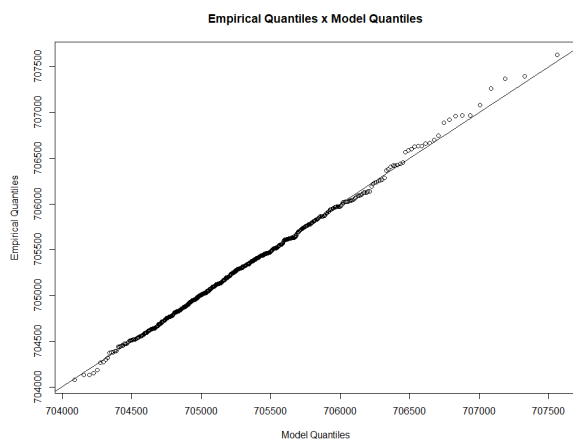
Figura 85 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 6 - Tarefa lms



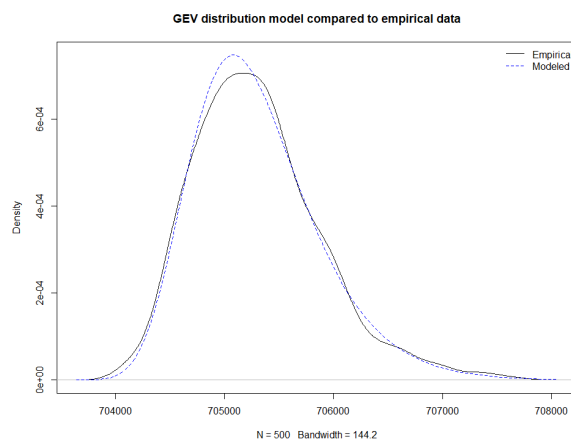
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



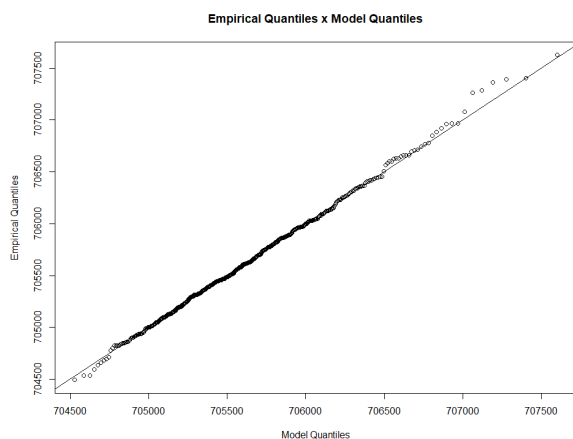
b Curva GEV com bloco 30



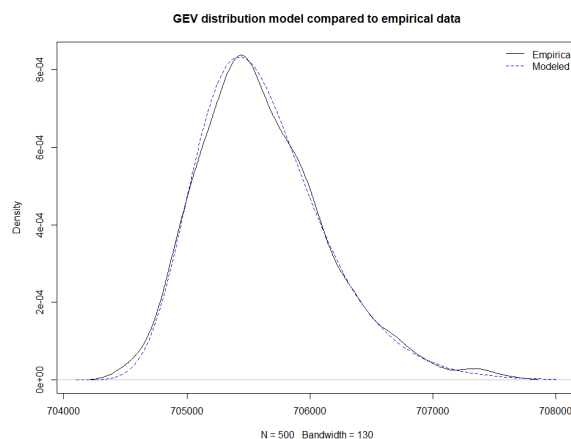
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



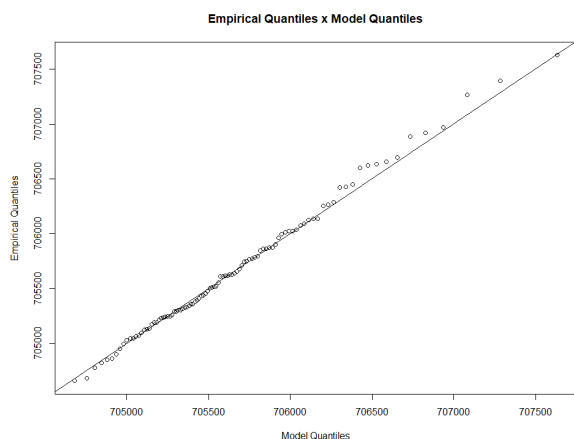
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



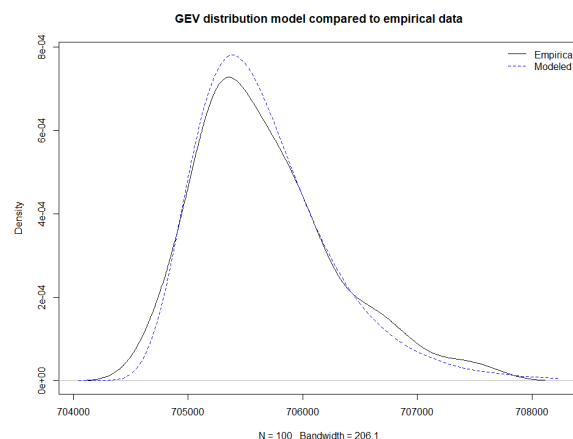
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

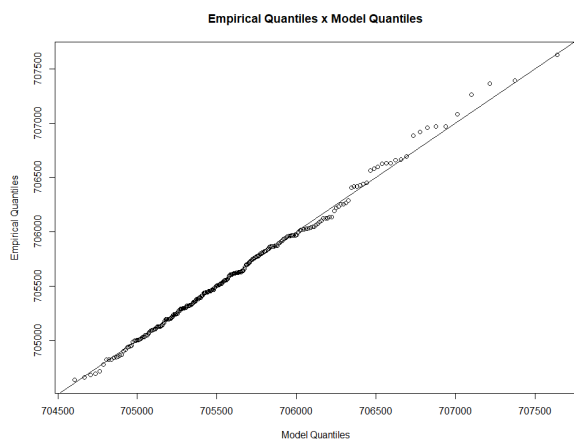
Figura 86 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 6 - Tarefa lms



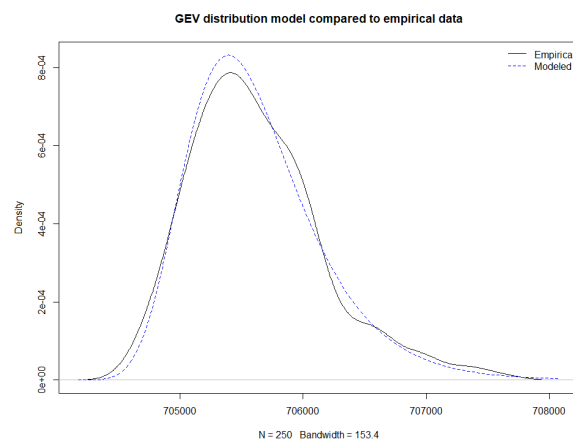
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



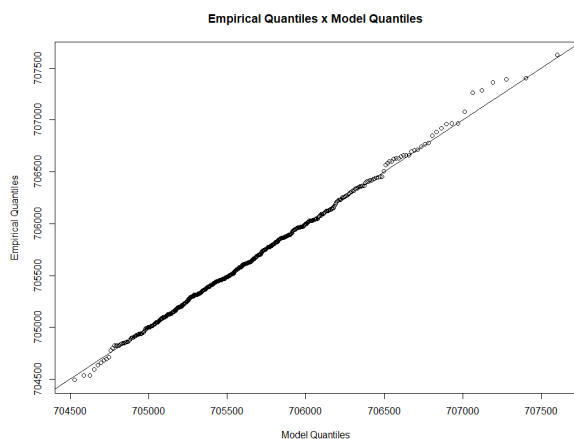
b Curva GEV com 100 blocos



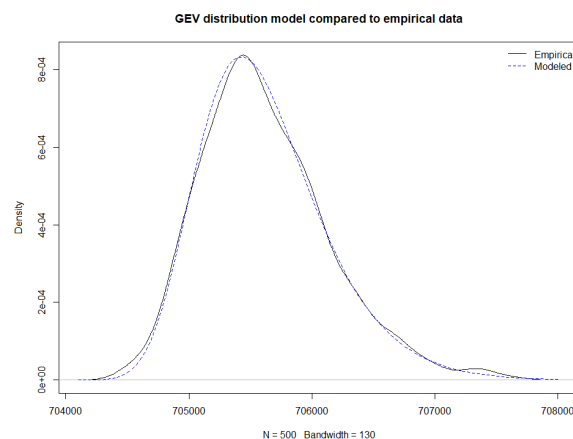
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 91 – Amostra 6 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698269 | 701489 | 702385 | 702408 | 703291 | 707626 | 1269,731 | 1612218 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 92 – Amostra 6 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704699,0894 | 704751,6998 | 704804,3102 |
| | σ | 500,5120 | 537,8101 | 575,1082 |
| | ξ | -0,1063 | -0,0473 | 0,0118 |
| 50 | μ | 704999,0795 | 705047,2188 | 705095,3581 |
| | σ | 459,5677 | 493,8442 | 528,1208 |
| | ξ | -0,1251 | -0,0667 | -0,0083 |
| 100 | μ | 705350,7840 | 705394,0216 | 705437,2591 |
| | σ | 412,4945 | 442,8531 | 473,2116 |
| | ξ | -0,1317 | -0,0741 | -0,0165 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 93 – Amostra 6 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708133,3241 | 709526,9084 | 710920,4927 |
| | 10^{-6} | 708322,6676 | 710207,8203 | 712092,9729 |
| | 10^{-7} | 708409,2173 | 710818,5134 | 713227,8094 |
| | 10^{-8} | 708412,2401 | 711366,2298 | 714320,2196 |
| 50 | 10^{-5} | 707926,3287 | 709015,4440 | 710104,5592 |
| | 10^{-6} | 708068,0137 | 709504,3918 | 710940,7698 |
| | 10^{-7} | 708132,9886 | 709923,7060 | 711714,4235 |
| | 10^{-8} | 708140,2890 | 710283,3043 | 712426,3195 |
| 100 | 10^{-5} | 707912,1660 | 708823,9900 | 709735,8140 |
| | 10^{-6} | 708032,1044 | 709223,4407 | 710414,7771 |
| | 10^{-7} | 708088,4363 | 709560,2346 | 711032,0329 |
| | 10^{-8} | 708098,2150 | 709844,2003 | 711590,1857 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 94 – Amostra 6 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705289,9579 | 705394,5994 | 705499,2409 |
| | σ | 394,1486 | 471,3282 | 548,5077 |
| | ξ | -0,1431 | 0,0124 | 0,1679 |
| 250 | μ | 705318,5578 | 705379,9358 | 705441,3139 |
| | σ | 397,7191 | 442,4940 | 487,2689 |
| | ξ | -0,1190 | -0,0289 | 0,0613 |
| 500 | μ | 705350,7840 | 705394,0216 | 705437,2591 |
| | σ | 412,4945 | 442,8531 | 473,2116 |
| | ξ | -0,1317 | -0,0741 | -0,0165 |

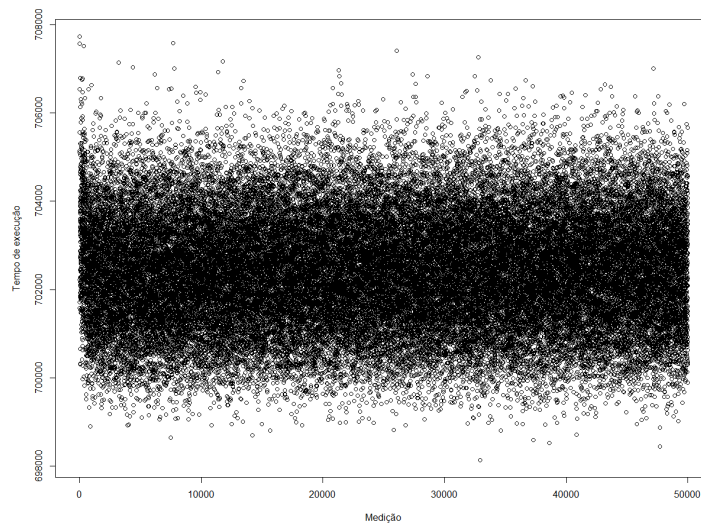
Fonte – Do Autor.

Tabela 95 – Amostra 6 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

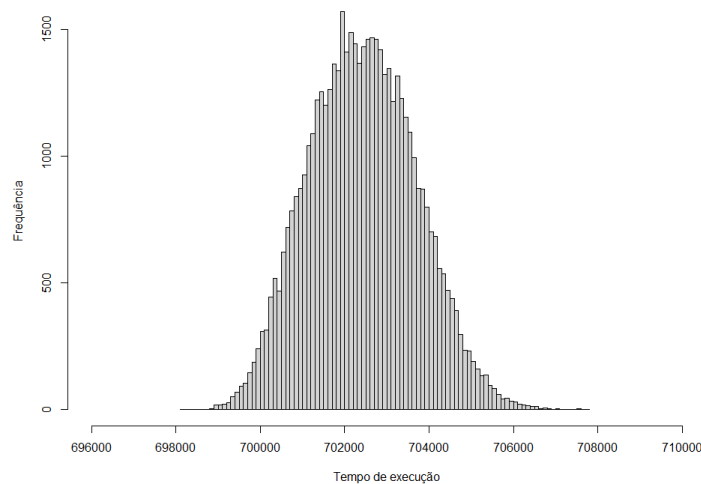
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706124,5081 | 711228,0296 | 716331,5512 |
| | 10^{-6} | 704957,0812 | 712498,1777 | 720039,2743 |
| | 10^{-7} | 703287,0763 | 713805,1661 | 724323,2559 |
| | 10^{-8} | 701086,6103 | 715150,0654 | 729213,5205 |
| 250 | 10^{-5} | 707704,7896 | 709714,2234 | 711723,6573 |
| | 10^{-6} | 707630,4944 | 710421,2323 | 713211,9701 |
| | 10^{-7} | 707423,3514 | 711082,7708 | 714742,1901 |
| | 10^{-8} | 707100,8666 | 711701,7643 | 716302,6621 |
| 500 | 10^{-5} | 707912,1660 | 708823,9900 | 709735,8140 |
| | 10^{-6} | 708032,1044 | 709223,4407 | 710414,7771 |
| | 10^{-7} | 708088,4363 | 709560,2346 | 711032,0329 |
| | 10^{-8} | 708098,2150 | 709844,2003 | 711590,1857 |

Fonte – Do Autor.

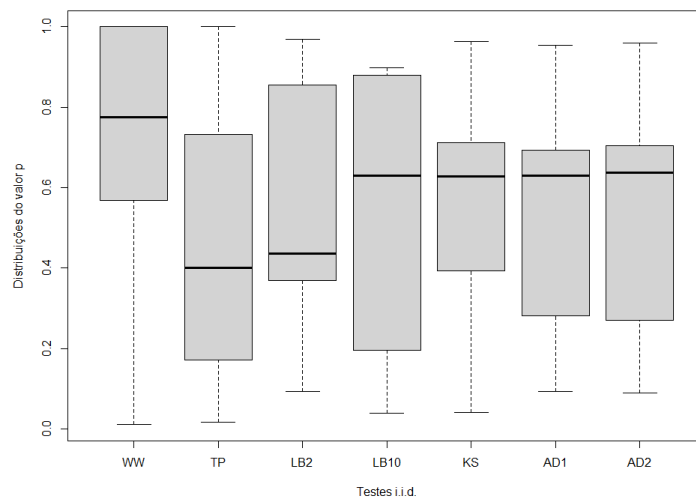
Figura 87 – Amostra 7 - Tarefa lms



a Amostra



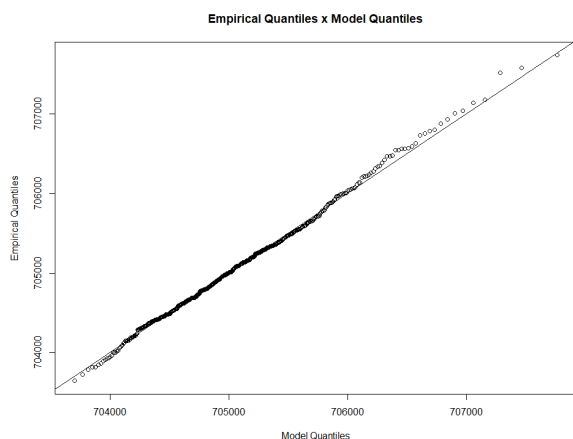
b Histograma



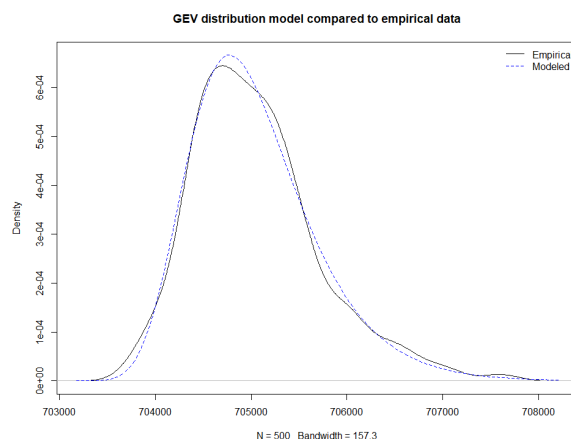
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

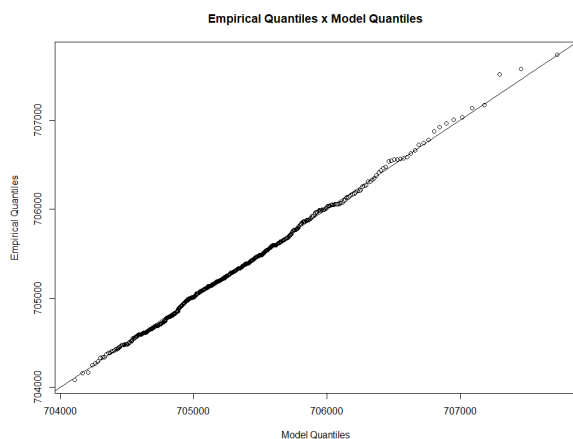
Figura 88 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 7 - Tarefa lms



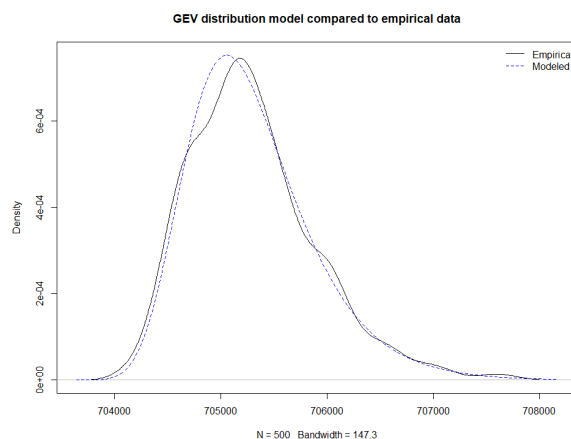
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



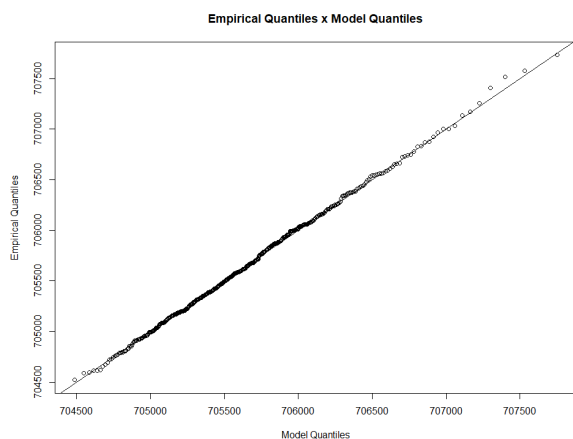
b Curva GEV com bloco 30



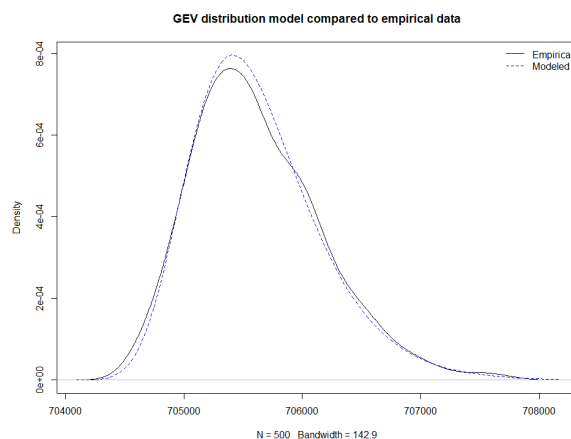
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



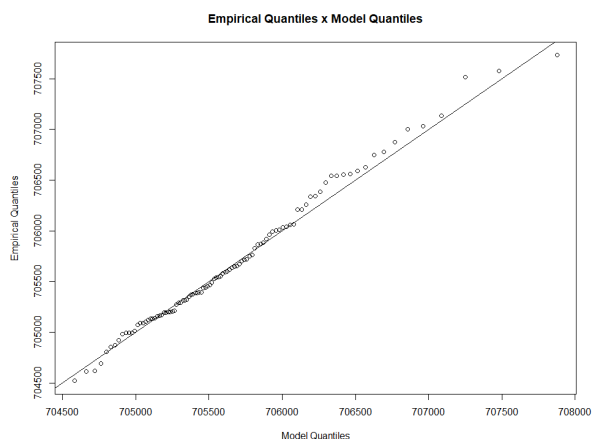
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



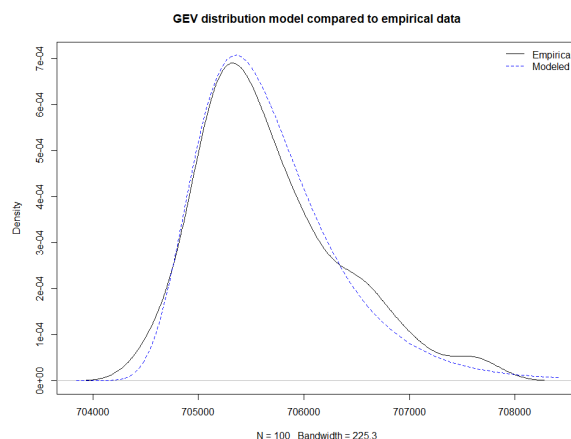
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

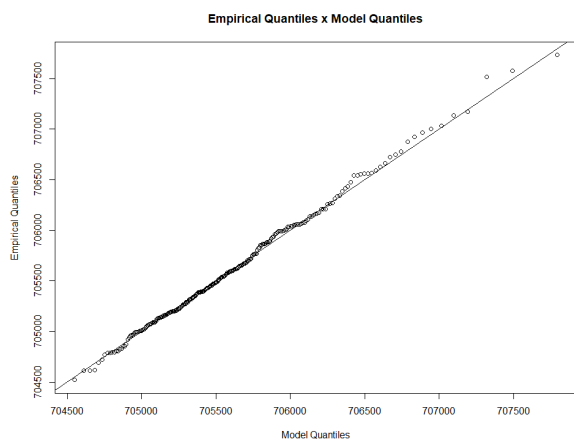
Figura 89 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 7 - Tarefa lms



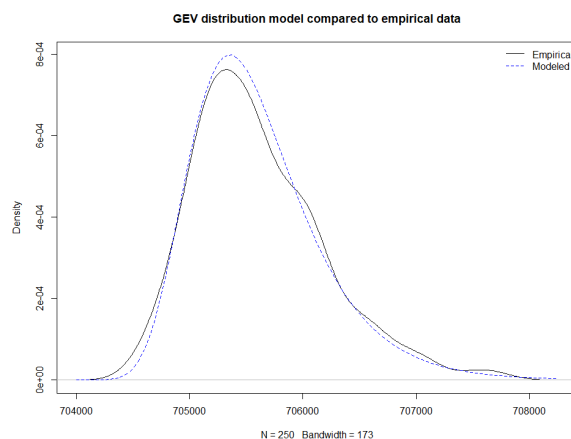
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



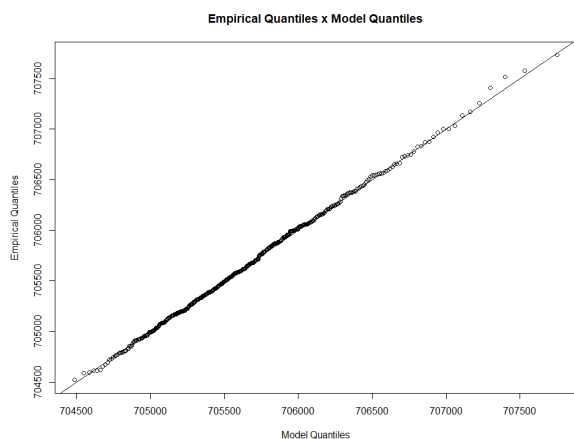
b Curva GEV com 100 blocos



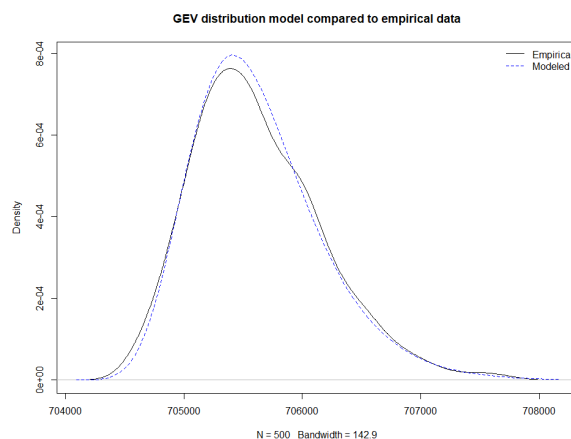
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 96 – Amostra 7 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698137 | 701506 | 702410 | 702430 | 703314 | 707732 | 1270,781 | 1614885 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 97 – Amostra 7 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704696,3985 | 704750,2374 | 704804,0763 |
| | σ | 513,7110 | 552,0092 | 590,3073 |
| | ξ | -0,1015 | -0,0430 | 0,0156 |
| 50 | μ | 704985,6572 | 705033,7636 | 705081,8701 |
| | σ | 455,0148 | 489,5596 | 524,1044 |
| | ξ | -0,1024 | -0,0404 | 0,0217 |
| 100 | μ | 705338,1289 | 705383,6515 | 705429,1742 |
| | σ | 430,6727 | 463,2597 | 495,8467 |
| | ξ | -0,1276 | -0,0652 | -0,0029 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 98 – Amostra 7 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708294,1931 | 709763,6791 | 711233,1651 |
| | 10^{-6} | 708503,1188 | 710501,6302 | 712500,1416 |
| | 10^{-7} | 708601,9923 | 711170,0678 | 713738,1433 |
| | 10^{-8} | 708609,7771 | 711775,5410 | 714941,3048 |
| 50 | 10^{-5} | 708141,9706 | 709541,0527 | 710940,1349 |
| | 10^{-6} | 708305,1057 | 710217,1640 | 712129,2223 |
| | 10^{-7} | 708365,5367 | 710833,2263 | 713300,9158 |
| | 10^{-8} | 708340,2987 | 711394,5736 | 714448,8485 |
| 100 | 10^{-5} | 708037,0367 | 709134,0588 | 710231,0809 |
| | 10^{-6} | 708149,9944 | 709601,4144 | 711052,8343 |
| | 10^{-7} | 708189,3237 | 710003,5845 | 711817,8452 |
| | 10^{-8} | 708173,4231 | 710349,6617 | 712525,9003 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 99 – Amostra 7 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705249,6150 | 705364,9182 | 705480,2215 |
| | σ | 435,3982 | 520,3081 | 605,2181 |
| | ξ | -0,1346 | 0,0198 | 0,1742 |
| 250 | μ | 705282,9433 | 705347,2383 | 705411,5334 |
| | σ | 414,0457 | 460,4968 | 506,9479 |
| | ξ | -0,1060 | -0,0144 | 0,0772 |
| 500 | μ | 705338,1289 | 705383,6515 | 705429,1742 |
| | σ | 430,6727 | 463,2597 | 495,8467 |
| | ξ | -0,1276 | -0,0652 | -0,0029 |

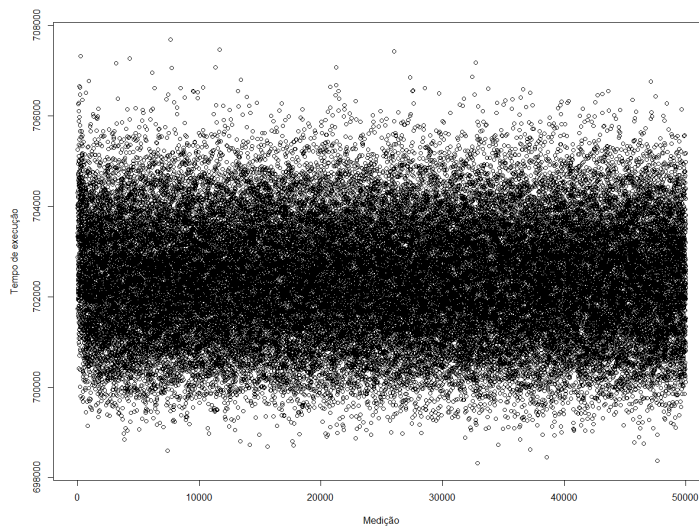
Fonte – Do Autor.

Tabela 100 – Amostra 7 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

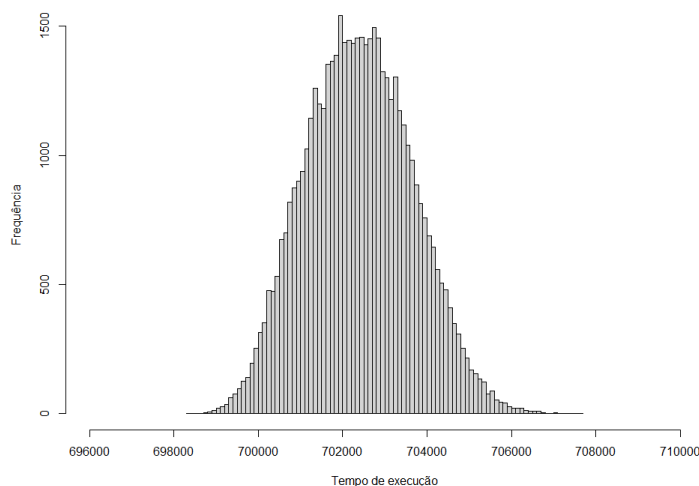
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706147,7037 | 712092,5857 | 718037,4676 |
| | 10^{-6} | 704748,6430 | 713632,0483 | 722515,4536 |
| | 10^{-7} | 702710,6248 | 715243,2879 | 727775,9510 |
| | 10^{-8} | 699977,4454 | 716929,6536 | 733881,8618 |
| 250 | 10^{-5} | 707853,1610 | 710232,6783 | 712612,1957 |
| | 10^{-6} | 707741,8354 | 711116,2672 | 714490,6990 |
| | 10^{-7} | 707453,5432 | 711971,0330 | 716488,5227 |
| | 10^{-8} | 707000,0840 | 712797,9172 | 718595,7504 |
| 500 | 10^{-5} | 708037,0367 | 709134,0588 | 710231,0809 |
| | 10^{-6} | 708149,9944 | 709601,4144 | 711052,8343 |
| | 10^{-7} | 708189,3237 | 710003,5845 | 711817,8452 |
| | 10^{-8} | 708173,4231 | 710349,6617 | 712525,9003 |

Fonte – Do Autor.

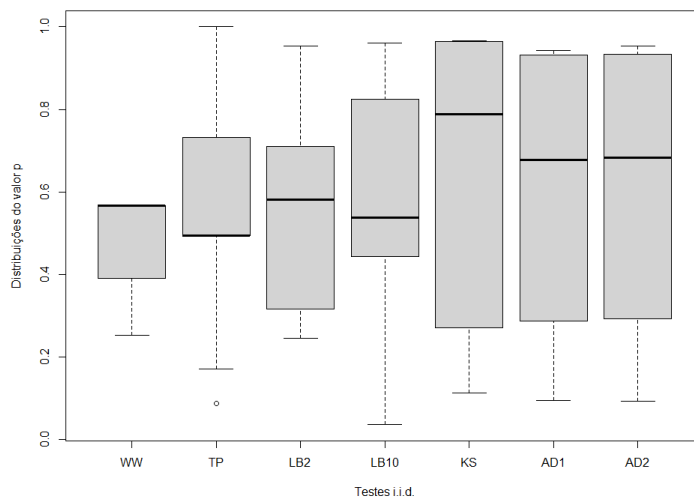
Figura 90 – Amostra 8 - Tarefa lms



a Amostra



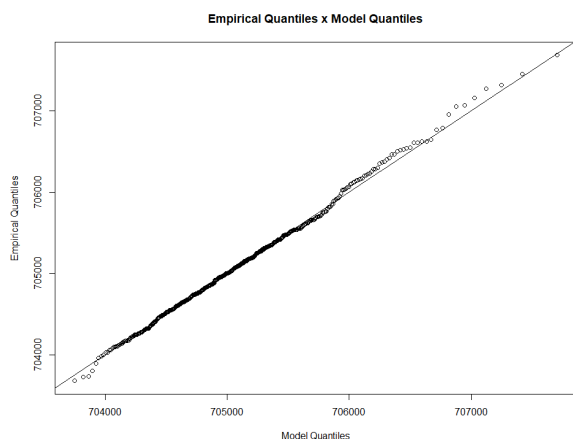
b Histograma



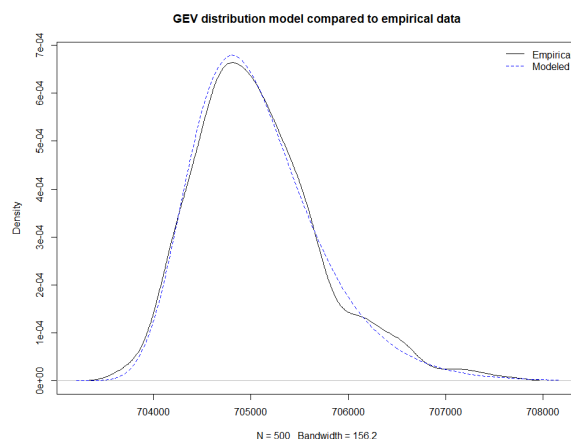
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

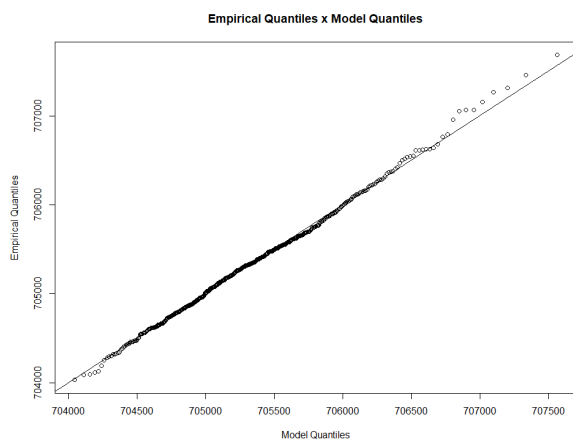
Figura 91 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 8 - Tarefa lms



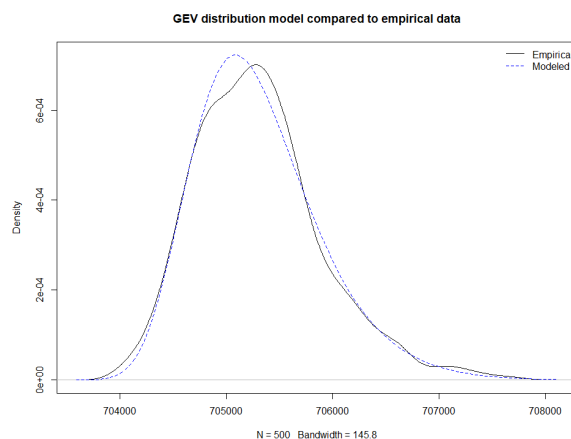
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



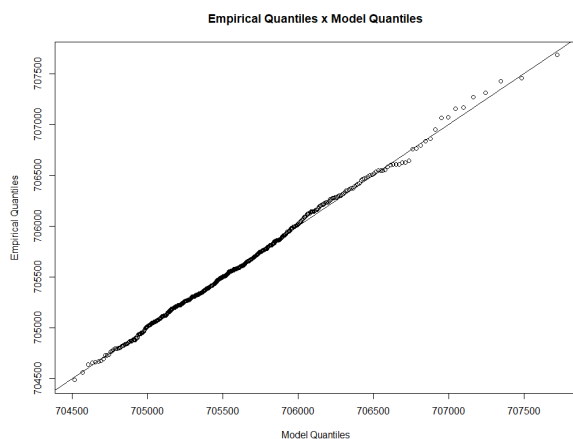
b Curva GEV com bloco 30



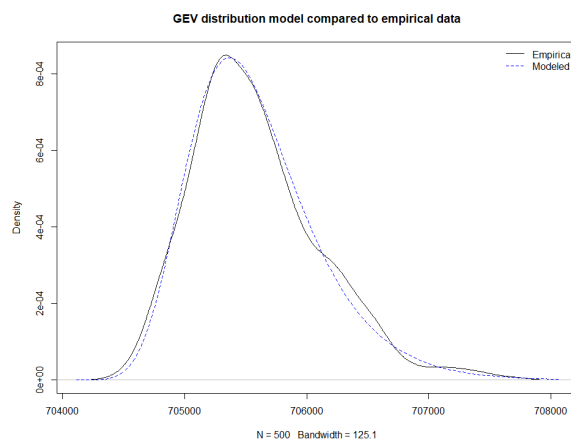
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



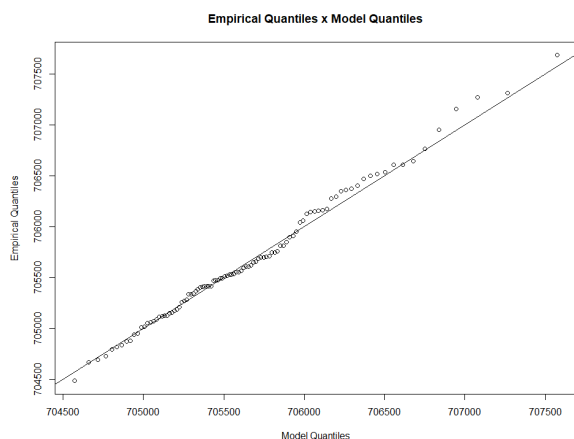
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



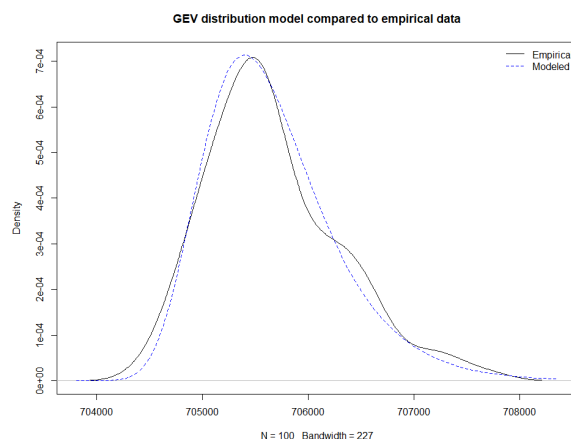
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

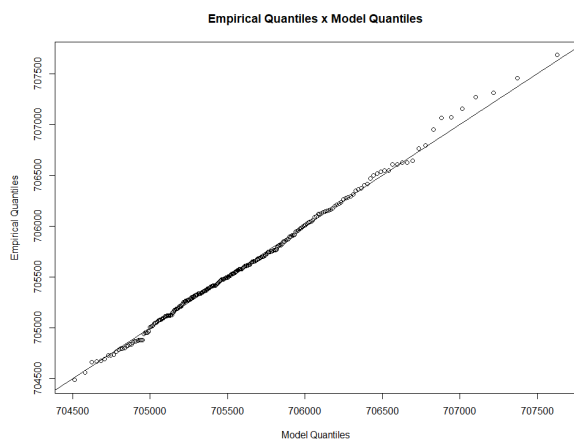
Figura 92 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 8 - Tarefa lms



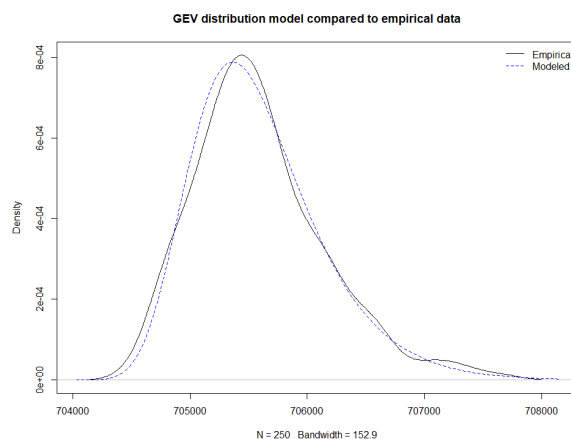
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



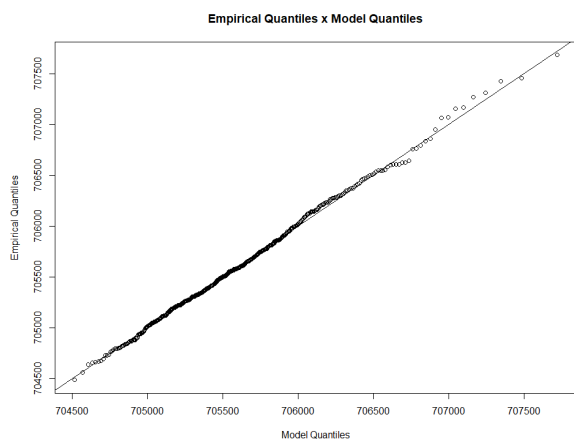
b Curva GEV com 100 blocos



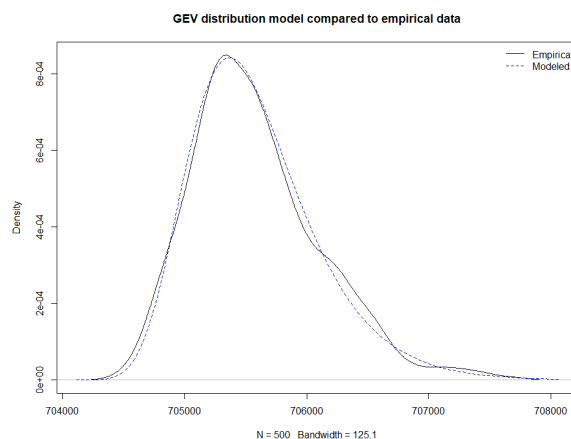
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 101 – Amostra 8 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698321 | 701480 | 702378 | 702398 | 703279 | 707683 | 1268,328 | 1608656 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 102 – Amostra 8 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704730,1525 | 704783,224 | 704836,2955 |
| | σ | 505,1196 | 542,5567 | 579,9938 |
| | ξ | -0,1063 | -0,0475 | 0,0112 |
| 50 | μ | 704995,5629 | 705045,2558 | 705094,9488 |
| | σ | 475,4947 | 510,4351 | 545,3754 |
| | ξ | -0,1340 | -0,0775 | -0,0211 |
| 100 | μ | 705304,6219 | 705347,4631 | 705390,3043 |
| | σ | 405,6669 | 436,4290 | 467,1911 |
| | ξ | -0,1067 | -0,0445 | 0,0177 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 103 – Amostra 8 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708197,4293 | 709593,5047 | 710989,5801 |
| | 10^{-6} | 708390,5391 | 710277,9930 | 712165,4469 |
| | 10^{-7} | 708480,4753 | 710891,4972 | 713302,5191 |
| | 10^{-8} | 708486,6390 | 711441,3794 | 714396,1199 |
| 50 | 10^{-5} | 707928,1731 | 708932,3254 | 709936,4777 |
| | 10^{-6} | 708067,2653 | 709373,1996 | 710679,1340 |
| | 10^{-7} | 708135,5751 | 709741,9930 | 711348,4110 |
| | 10^{-8} | 708152,5860 | 710050,4910 | 711948,3961 |
| 100 | 10^{-5} | 708067,3197 | 709279,2886 | 710491,2575 |
| | 10^{-6} | 708204,3526 | 709851,5362 | 711498,7197 |
| | 10^{-7} | 708253,8539 | 710368,0544 | 712482,2548 |
| | 10^{-8} | 708231,6387 | 710834,2714 | 713436,9041 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 104 – Amostra 8 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705268,6392 | 705382,3515 | 705496,0637 |
| | σ | 433,3619 | 516,1251 | 598,8883 |
| | ξ | -0,1843 | -0,0364 | 0,1115 |
| 250 | μ | 705277,1046 | 705341,9261 | 705406,7477 |
| | σ | 420,8988 | 467,3096 | 513,7205 |
| | ξ | -0,1324 | -0,0454 | 0,0416 |
| 500 | μ | 705304,6219 | 705347,4631 | 705390,3043 |
| | σ | 405,6669 | 436,429 | 467,1911 |
| | ξ | -0,1067 | -0,0445 | 0,0177 |

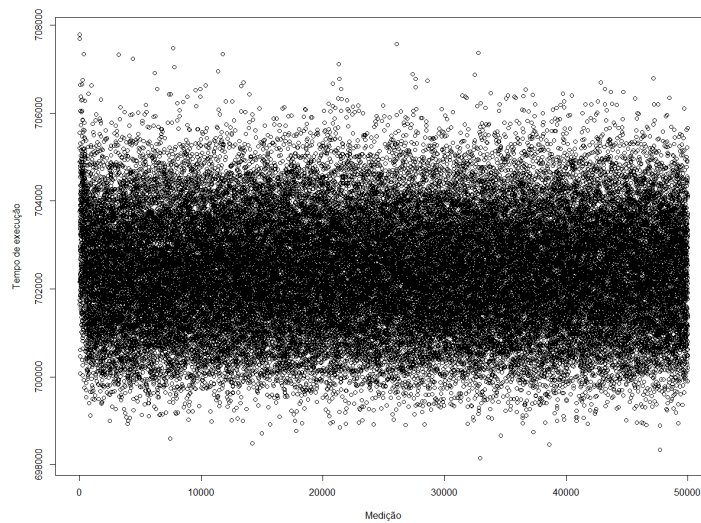
Fonte – Do Autor.

Tabela 105 – Amostra 8 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

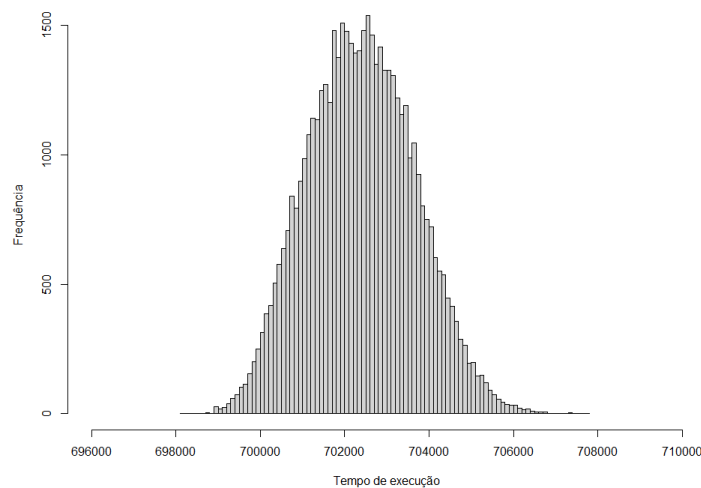
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706622,9616 | 710236,4288 | 713849,8960 |
| | 10^{-6} | 706016,0404 | 710986,1190 | 715956,1975 |
| | 10^{-7} | 705222,6732 | 711675,5295 | 718128,3857 |
| | 10^{-8} | 704276,9493 | 712309,5083 | 720342,0674 |
| 250 | 10^{-5} | 707729,1607 | 709532,8179 | 711336,4751 |
| | 10^{-6} | 707690,9066 | 710138,8843 | 712586,8619 |
| | 10^{-7} | 707546,8272 | 710684,8382 | 713822,8492 |
| | 10^{-8} | 707318,3896 | 711176,6427 | 715034,8958 |
| 500 | 10^{-5} | 708067,3197 | 709279,2886 | 710491,2575 |
| | 10^{-6} | 708204,3526 | 709851,5362 | 711498,7197 |
| | 10^{-7} | 708253,8539 | 710368,0544 | 712482,2548 |
| | 10^{-8} | 708231,6387 | 710834,2714 | 713436,9041 |

Fonte – Do Autor.

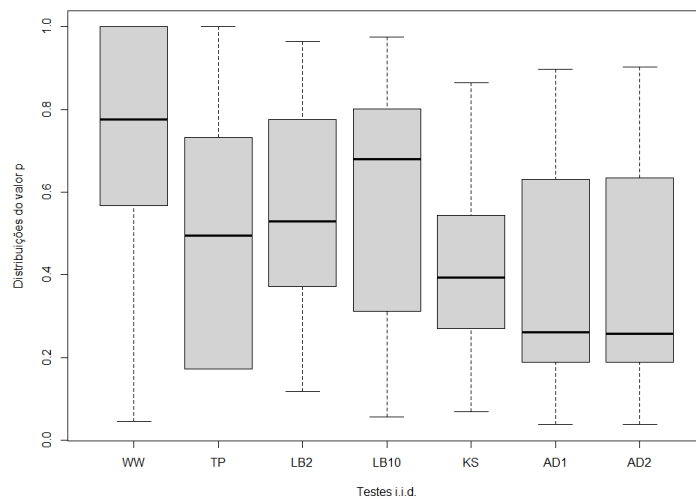
Figura 93 – Amostra 9 - Tarefa lms



a Amostra



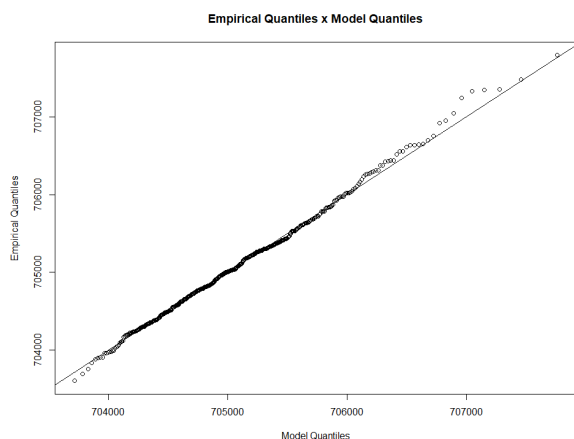
b Histograma



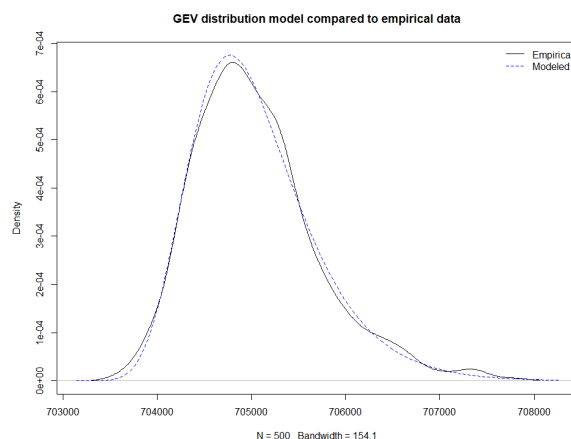
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

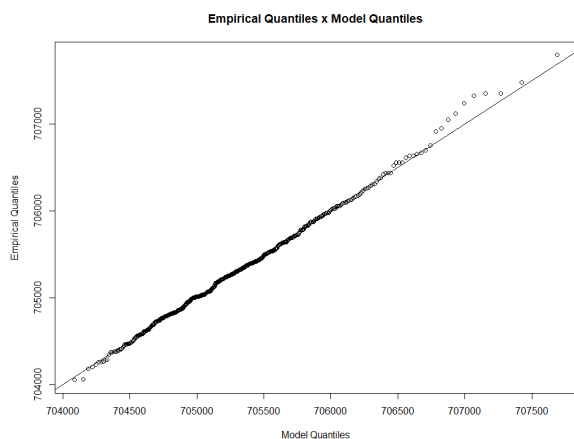
Figura 94 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 9 - Tarefa lms



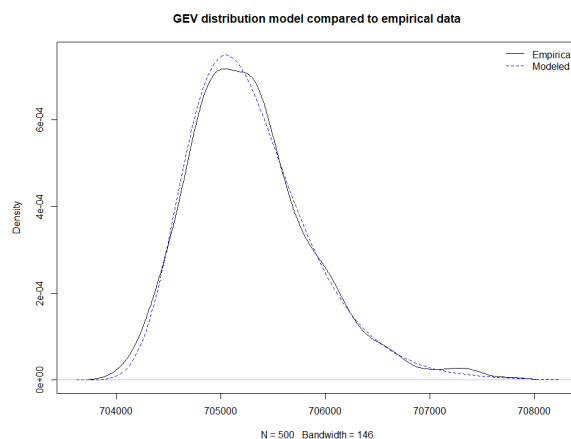
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



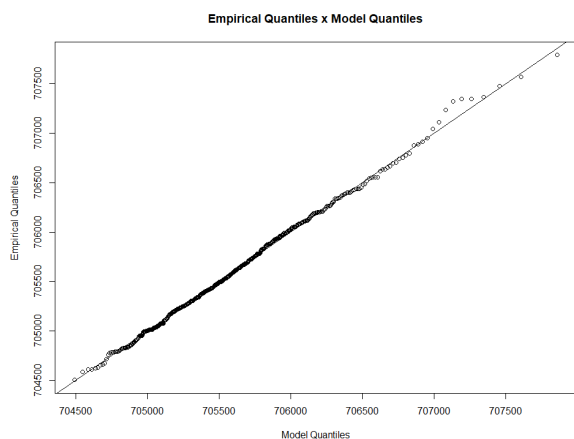
b Curva GEV com bloco 30



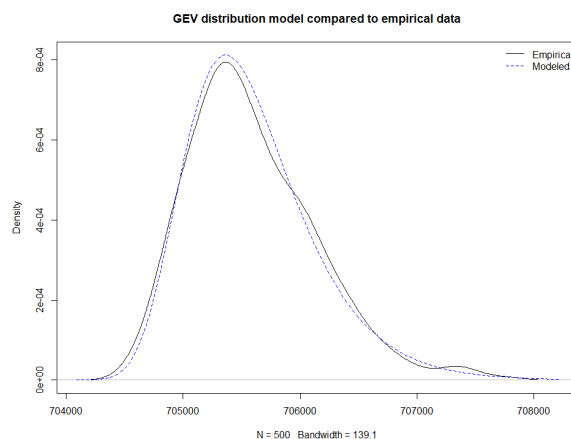
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



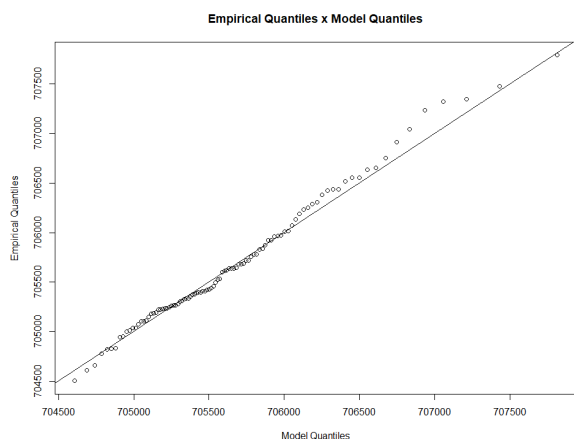
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



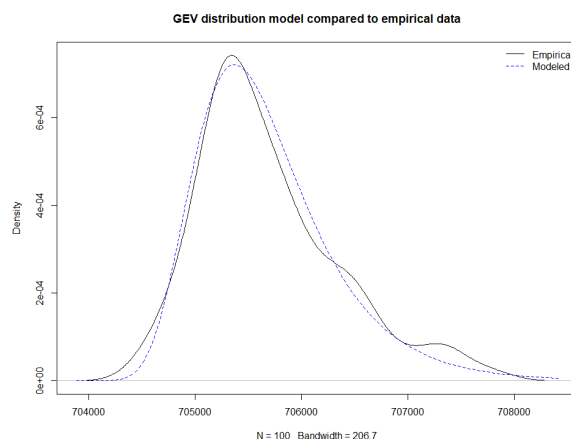
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

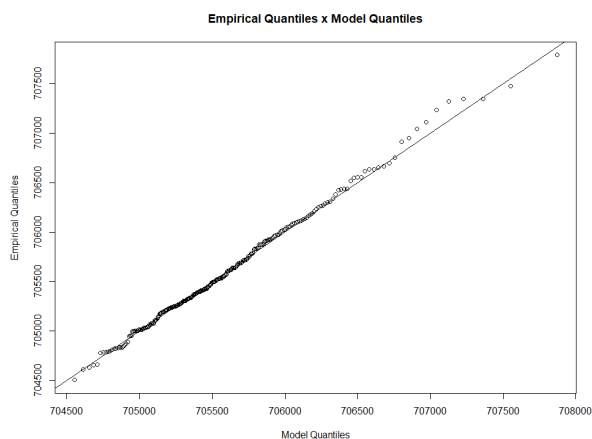
Figura 95 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 9 - Tarefa lms



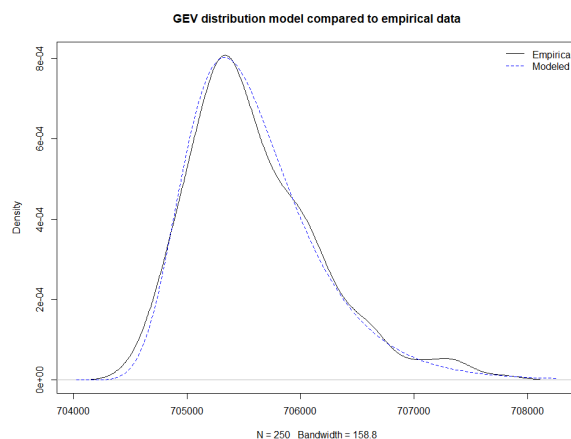
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



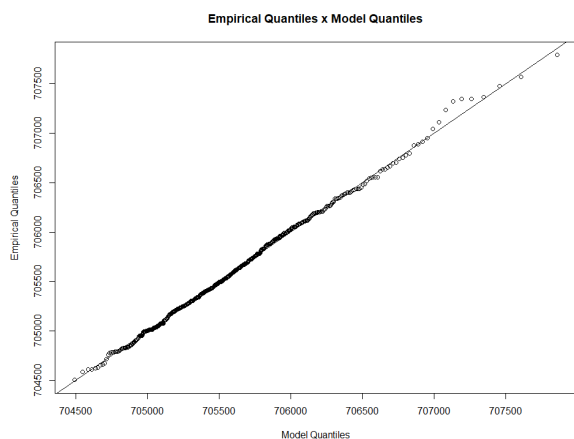
b Curva GEV com 100 blocos



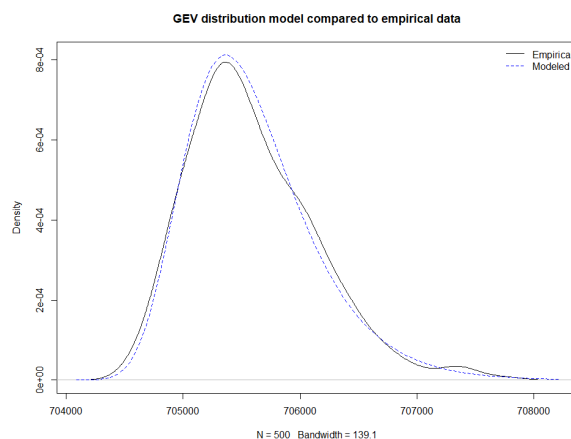
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 106 – Amostra 9 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698150 | 701483 | 702381 | 702399 | 703284 | 707791 | 1270,845 | 1615048 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 107 – Amostra 9 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704695,7799 | 704748,9745 | 704802,1690 |
| | σ | 507,3517 | 544,8629 | 582,3741 |
| | ξ | -0,0967 | -0,0391 | 0,0185 |
| 50 | μ | 704976,4045 | 705024,3569 | 705072,3092 |
| | σ | 457,6024 | 491,6735 | 525,7446 |
| | ξ | -0,1035 | -0,0455 | 0,0125 |
| 100 | μ | 705303,4047 | 705348,0796 | 705392,7545 |
| | σ | 421,1308 | 453,4194 | 485,7080 |
| | ξ | -0,1020 | -0,0380 | 0,0261 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 108 – Amostra 9 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708328,0773 | 709800,1053 | 711272,1334 |
| | 10^{-6} | 708553,0221 | 710565,0194 | 712577,0167 |
| | 10^{-7} | 708665,6370 | 711264,0787 | 713862,5204 |
| | 10^{-8} | 708683,6832 | 711902,9541 | 715122,2250 |
| 50 | 10^{-5} | 708160,1309 | 709430,4614 | 710700,7919 |
| | 10^{-6} | 708345,2212 | 710066,9836 | 711788,7460 |
| | 10^{-7} | 708435,1501 | 710640,1855 | 712845,2208 |
| | 10^{-8} | 708447,0928 | 711156,3668 | 713865,6408 |
| 100 | 10^{-5} | 708216,6966 | 709576,4139 | 710936,1312 |
| | 10^{-6} | 708356,5519 | 710221,9435 | 712087,3350 |
| | 10^{-7} | 708397,2754 | 710813,4048 | 713229,5343 |
| | 10^{-8} | 708354,5663 | 711355,3276 | 714356,0890 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 109 – Amostra 9 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705265,0583 | 705377,7965 | 705490,5346 |
| | σ | 429,2672 | 510,5838 | 591,9005 |
| | ξ | -0,1305 | 0,0146 | 0,1598 |
| 250 | μ | 705269,1360 | 705332,9535 | 705396,7710 |
| | σ | 411,0804 | 457,6174 | 504,1544 |
| | ξ | -0,0910 | 0,0014 | 0,0939 |
| 500 | μ | 705303,4047 | 705348,0796 | 705392,7545 |
| | σ | 421,1308 | 453,4194 | 485,7080 |
| | ξ | -0,1020 | -0,0380 | 0,0261 |

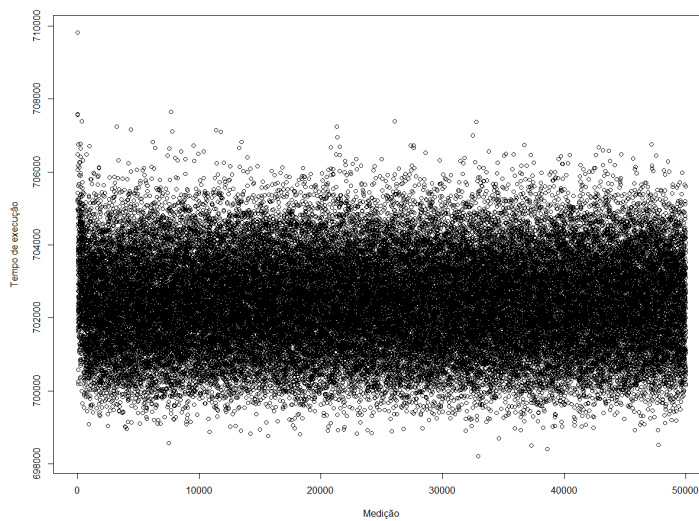
Fonte – Do Autor.

Tabela 110 – Amostra 9 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

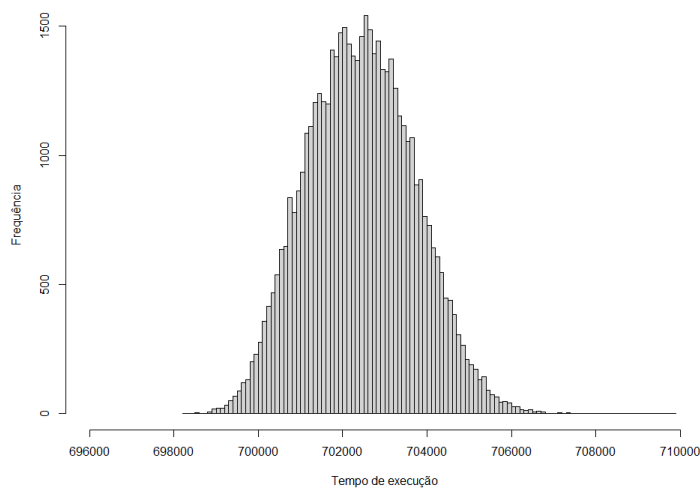
| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 706492,8168 | 711780,6719 | 717068,5269 |
| | 10^{-6} | 705366,6308 | 713195,9521 | 721025,2734 |
| | 10^{-7} | 703711,9031 | 714659,7631 | 725607,6230 |
| | 10^{-8} | 701494,0234 | 716173,7714 | 730853,5194 |
| 250 | 10^{-5} | 707937,0188 | 710644,7932 | 713352,5675 |
| | 10^{-6} | 707786,9466 | 711717,6304 | 715648,3141 |
| | 10^{-7} | 707406,8722 | 712793,9813 | 718181,0904 |
| | 10^{-8} | 706795,4492 | 713873,8592 | 720952,2692 |
| 500 | 10^{-5} | 708216,6966 | 709576,4139 | 710936,1312 |
| | 10^{-6} | 708356,5519 | 710221,9435 | 712087,3350 |
| | 10^{-7} | 708397,2754 | 710813,4048 | 713229,5343 |
| | 10^{-8} | 708354,5663 | 711355,3276 | 714356,0890 |

Fonte – Do Autor.

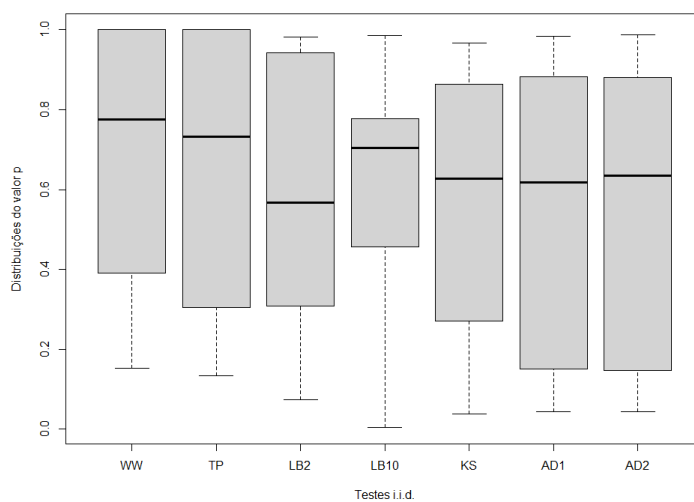
Figura 96 – Amostra 10 - Tarefa lms



a Amostra



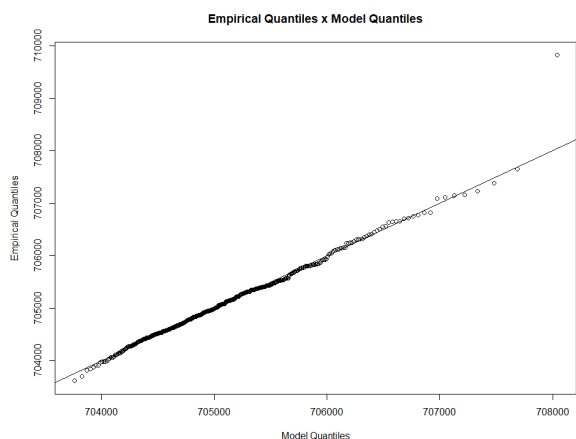
b Histograma



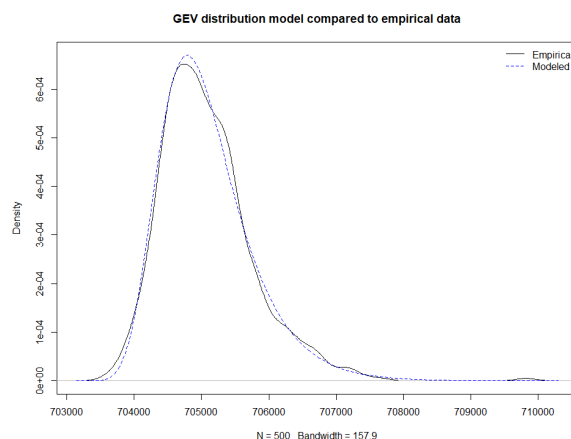
c Testes i.i.d

Fonte – Do Autor.

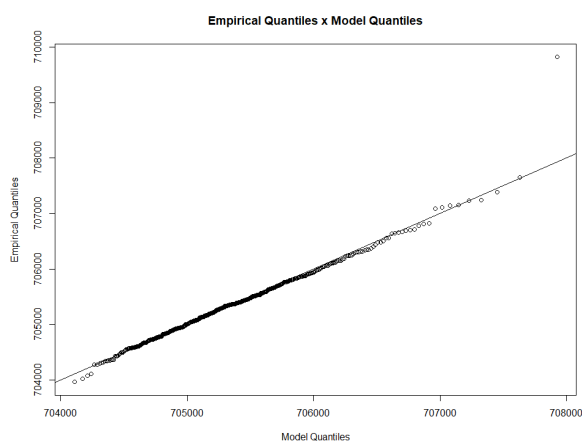
Figura 97 – Resultados com variação do tamanho do bloco: Amostra 10 - Tarefa lms



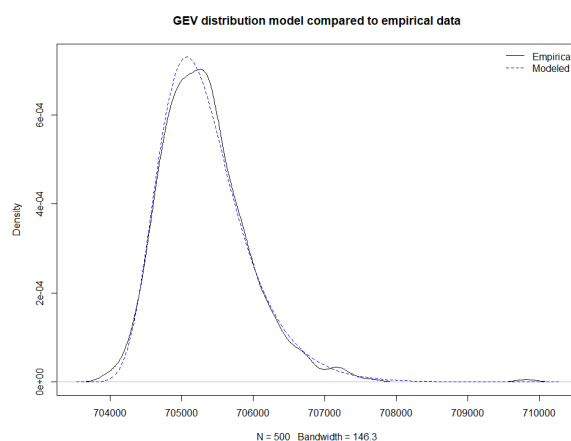
a Gráfico Quantil-Quantil com bloco 30



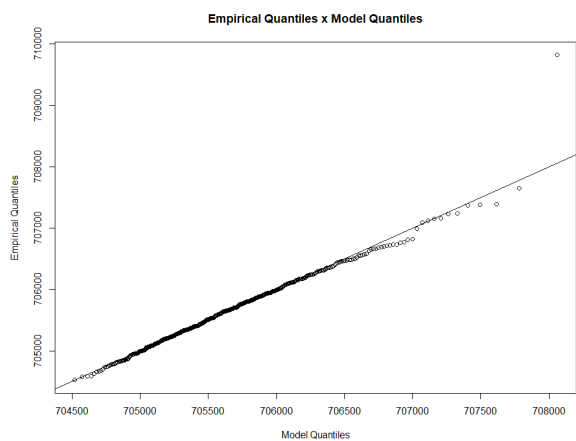
b Curva GEV com bloco 30



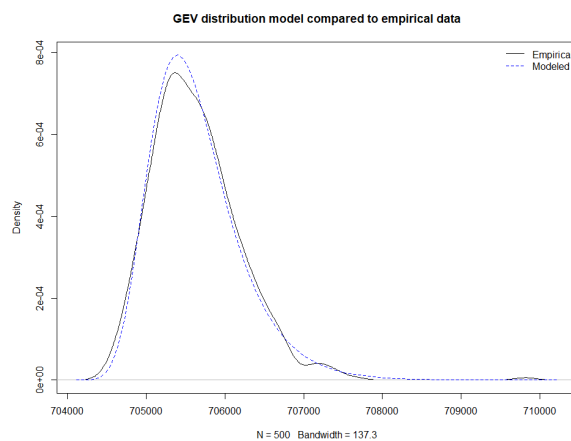
c Gráfico Quantil-Quantil com bloco 50



d Curva GEV com bloco 50



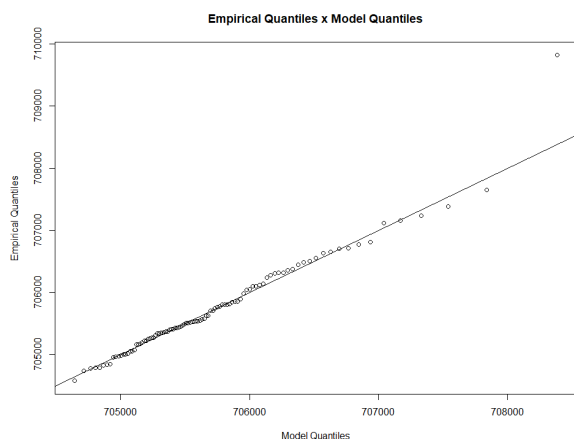
e Gráfico Quantil-Quantil com bloco 100



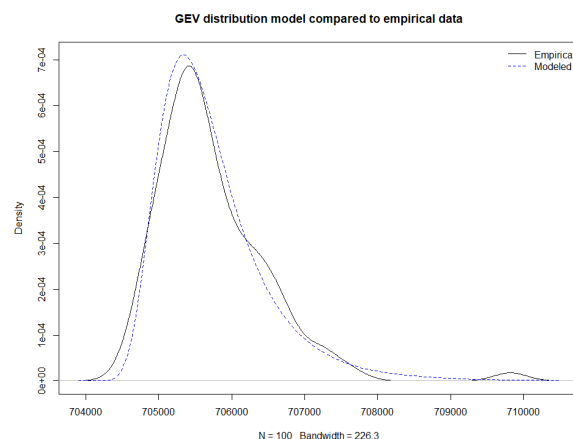
f Curva GEV com bloco 100

Fonte – Do Autor.

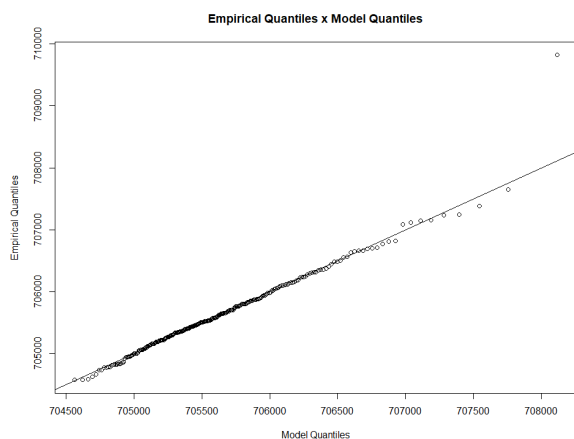
Figura 98 – Resultados com variação do número de blocos: Amostra 10 - Tarefa lms



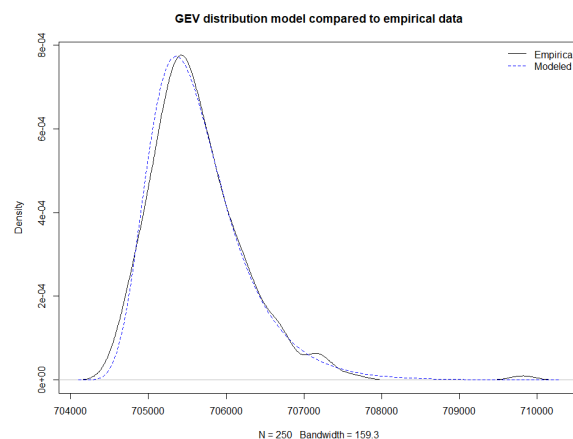
a Gráfico Quantil-Quantil com 100 blocos



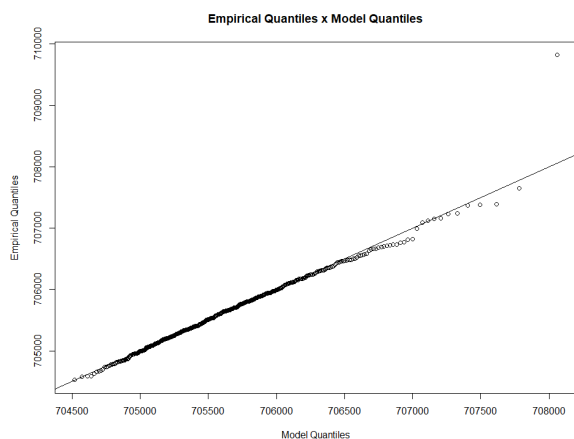
b Curva GEV com 100 blocos



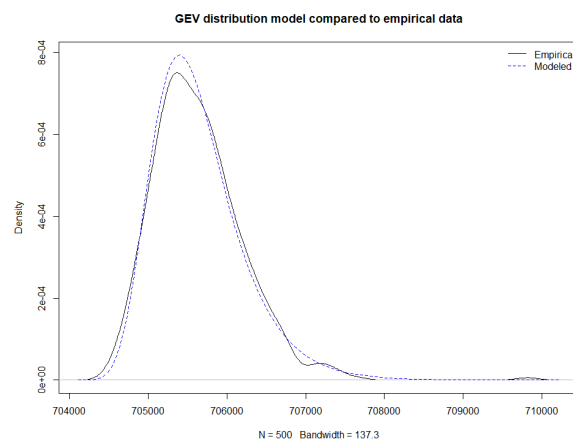
c Gráfico Quantil-Quantil com 250 blocos



d Curva GEV com 250 blocos



e Gráfico Quantil-Quantil com 500 blocos



f Curva GEV com 500 blocos

Fonte – Do Autor.

Tabela 111 – Amostra 10 - Tarefa lms: Análise dos dados

| Mínimo | Primeiro Quartil | Mediana | Média | Terceiro Quartil | Máximo | Desvio Padrão | Variância |
|--------|------------------|---------|--------|------------------|--------|---------------|-----------|
| 698213 | 701510 | 702419 | 702434 | 703313 | 709820 | 1271,216 | 1615989 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 112 – Amostra 10 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | μ | 704722,4338 | 704775,4439 | 704828,4540 |
| | σ | 511,4667 | 549,1533 | 586,8400 |
| | ξ | -0,0661 | -0,0146 | 0,0369 |
| 50 | μ | 705005,4051 | 705053,7017 | 705101,9982 |
| | σ | 470,0475 | 504,1627 | 538,2780 |
| | ξ | -0,0748 | -0,0285 | 0,0178 |
| 100 | μ | 705338,5942 | 705383,3280 | 705428,0617 |
| | σ | 431,4646 | 463,3479 | 495,2313 |
| | ξ | -0,0741 | -0,0240 | 0,0260 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 113 – Amostra 10 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (Bloco: 30, 50 e 100)

| Tamanho (Bloco) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 30 | 10^{-5} | 708971,4382 | 710595,2493 | 712219,0604 |
| | 10^{-6} | 709354,9749 | 711646,4164 | 713937,8579 |
| | 10^{-7} | 709604,9523 | 712662,8486 | 715720,7450 |
| | 10^{-8} | 709729,8935 | 713645,6955 | 717561,4974 |
| 50 | 10^{-5} | 708791,8917 | 710001,2829 | 711210,6740 |
| | 10^{-6} | 709140,8751 | 710810,3344 | 712479,7937 |
| | 10^{-7} | 709386,6367 | 711567,9521 | 713749,2675 |
| | 10^{-8} | 709540,9816 | 712277,4069 | 715013,8321 |
| 100 | 10^{-5} | 708812,6948 | 710043,0575 | 711273,4203 |
| | 10^{-6} | 709116,6300 | 710829,9571 | 712543,2843 |
| | 10^{-7} | 709318,1624 | 711574,4684 | 713830,7744 |
| | 10^{-8} | 709427,5369 | 712278,8758 | 715130,2148 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 114 – Amostra 10 - Tarefa lms: Parâmetros usados para o ajuste (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Parâmetros usados para o ajuste | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | μ | 705267,4934 | 705382,2210 | 705496,9487 |
| | σ | 432,8841 | 519,9850 | 607,0859 |
| | ξ | -0,0551 | 0,0941 | 0,2433 |
| 250 | μ | 705296,6129 | 705361,9958 | 705427,3786 |
| | σ | 428,2320 | 475,3014 | 522,3707 |
| | ξ | -0,0604 | 0,0172 | 0,0947 |
| 500 | μ | 705338,5942 | 705383,3280 | 705428,0617 |
| | σ | 431,4646 | 463,3479 | 495,2313 |
| | ξ | -0,0741 | -0,0240 | 0,0260 |

Fonte – Do Autor.

Tabela 115 – Amostra 10 - Tarefa lms: Probabilidade de Excedência (N: 100, 250 e 500)

| Quantidade (Blocos) | Probabilidade de excedência | Intervalo de confiança inferior (95%) | Valor estimado | Intervalo de confiança superior (95%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 100 | 10^{-5} | 705472,3625 | 716182,7560 | 726893,1494 |
| | 10^{-6} | 702041,4497 | 720132,5771 | 738223,7045 |
| | 10^{-7} | 696095,2105 | 725037,9441 | 753980,6778 |
| | 10^{-8} | 686618,0130 | 731130,0323 | 775642,0516 |
| 250 | 10^{-5} | 708696,2218 | 711412,7452 | 714129,2686 |
| | 10^{-6} | 708747,7856 | 712773,2415 | 716798,6973 |
| | 10^{-7} | 708548,1529 | 714188,6292 | 719829,1054 |
| | 10^{-8} | 708077,1731 | 715661,1252 | 723245,0773 |
| 500 | 10^{-5} | 708812,6948 | 710043,0575 | 711273,4203 |
| | 10^{-6} | 709116,6300 | 710829,9571 | 712543,2843 |
| | 10^{-7} | 709318,1624 | 711574,4684 | 713830,7744 |
| | 10^{-8} | 709427,5369 | 712278,8758 | 715130,2148 |

Fonte – Do Autor.