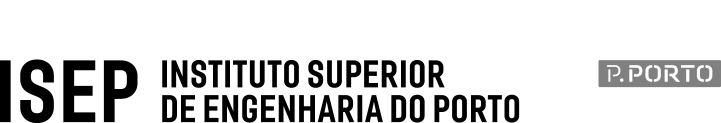
**Planeamento e Gestão de Atividades do Sistema de Incentivos da ANI (PGAI)**

3º Relatório

Universidade do Minho

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Setembro de 2023



**Índice**

[Índice de Figuras iii](#_Toc146194117)

[Índice de Tabelas iv](#_Toc146194118)

[Lista de Siglas v](#_Toc146194119)

[1. Introdução 1](#_Toc146194120)

[2. Análise de Desempenho das Variantes do Modelo Matemático Apresentadas no Relatório 2 2](#_Toc146194121)

[2.1. Apresentação de Resultados 2](#_Toc146194122)

[2.1.1 Resultados dos Testes com Instâncias de 3 Recursos e 15 Projetos: capacidade igual dos recursos 2](#_Toc146194123)

[2.1.2 Resultados dos Testes com Instâncias de 3 Recursos e 15 Projetos: capacidade diferente dos recursos 5](#_Toc146194124)

[2.1.3 Resultados dos Testes com Instâncias de 4 Recursos e 20 Projetos: capacidade igual dos recursos 7](#_Toc146194125)

[2.1.4 Resultados dos Testes com Instâncias de 4 Recursos e 20 Projetos: capacidade diferente dos recursos 9](#_Toc146194126)

[2.2 Discussão de Resultados 12](#_Toc146194127)

[3. Modelo de Simulação: As Is 19](#_Toc146194128)

[4. Heurísticas de Alocação para Balanceamento de Cargas 19](#_Toc146194129)

[5. Análise Estatística Comparativa das Heurísticas Apresentadas 19](#_Toc146194130)

[6. Implementação Computacional 19](#_Toc146194131)

[7. Conclusão 20](#_Toc146194132)

[Referências Bibliográficas 20](#_Toc146194133)

[Apêndices 21](#_Toc146194134)

[Apêndice 1 – Normalização de Resultados 21](#_Toc146194135)

[Apêndice 2 – Manual de Utilização 29](#_Toc146194136)

# **Índice de Figuras**

[Figura 1 - Média do Fator Amplitude para as Variantes 1 e 2 13](#_Toc146194209)

[Figura 2 - Média do Fator Desvio Padrão para as Variantes 1 e 2 14](#_Toc146194210)

[Figura 3 - Diagrama de Bigodes Representativo do Fator Esforço para as 3 Variantes do Modelo 14](#_Toc146194211)

# **Índice de Tabelas**

[Tabela 1 - Resultados Instância 3x15: capacidade igual 3](#_Toc146194215)

[Tabela 2 - Resultados Instância 3x15: capacidade diferente 5](#_Toc146194216)

[Tabela 3 - Resultados Instância 4x20: capacidade igual 7](#_Toc146194217)

[Tabela 4 - Resultados Instância 4x20: capacidade diferente 10](#_Toc146194218)

[Tabela 5 - Resultados Análise Estatística Descritiva 12](#_Toc146194219)

[Tabela 6 - Resultados do Teste ANOVA para Cada Fator de Avaliação (Amplitude, Desvio Padrão e Esforço) 16](#_Toc146194220)

[Tabela 7 - Resultados do Teste de Scheffé para o Fator de Avaliação de Amplitude 17](#_Toc146194221)

[Tabela 8 - Resultados do Teste de Scheffé para o Fator de Avaliação de Desvio Padrão 18](#_Toc146194222)

[Tabela 9 - Resultados do Teste de Scheffé para o Fator de Avaliação de Esforço 18](#_Toc146194223)

[Tabela 10 - Normalização de Resultados: instância 3X15 Capacidade Igual 21](#_Toc146194224)

[Tabela 11 - Normalização de Resultados: instância 3x15 capacidade diferente 23](#_Toc146194225)

[Tabela 12 - Normalização de Resultados: instância 4x20 capacidade igual 25](#_Toc146194226)

[Tabela 13 - Normalização de Resultados: instância 4x20 capacidade diferente 27](#_Toc146194227)

# **Lista de Siglas**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ANI | – | Agência Nacional de Inovação |
| AoA | – | Activity on Arc |
| AoN | – | Activity on Node |
| APF | – | Anexo Pedido Final |
| APPI | – | Análise de Pedido de Pagamento Intercalar |
| AT | – | Área Temática |
| CA | – | Coordenação de Acompanhamento |
| FACI | – | Ferramenta de Análise e Cálculo de Incentivo |
| FACIE | – | Ferramenta de Análise e Cálculo de Incentivo em Encerramento |
| GAT | – | Gestor Área Temática |
| GERT | – | Graphical Evaluation and Review Technique |
| GP | – | Gestor de Projeto |
| ISEP | – | Instituto Superior de Engenharia do Porto |
| PERT- CPM | – | Project Evaluation and Review Technique - Critical Path Method |
| PO | – | Programa Operacional |
| POCI | – | Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização |
| PTA | – | Pagamento a Título de Adiantamento |
| PTRF | – | Pedido de pagamento a Título de Reembolso Final |
| PTRI | – | Pedido de pagamento a Título de Reembolso Intercalar |
| SGP | – | Sistema de Gestão de Incentivos |
| SI | – | Sistema de Incentivos |
| SP | – | Serviços Partilhados |

# **Introdução**

Elaborou-se este relatório no âmbito de um projeto de investigação da ANI em parceria com a Universidade do Minho e o Instituto Superior de Engenharia do Porto que visa o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao escalonamento das atividades do departamento.

O relatório é a terceira fase do projeto. Nesta fase são caraterizados os recursos e as atividades e foram, ainda, realizados questionários, diferentes para cada tipo de técnico, de forma a permitir recolher tempos de duração de realização das atividades.

Efetivamente, foi recolhido o esforço de cada atividade (tempos que excluem esperas e tempos de inatividades) e o tempo que representam a totalidade da duração de cada atividade (*lead time*).

Após este capítulo introdutório (capítulo 1), no Capítulo 2 é feita a caraterização dos recursos (secção 2.1), onde serão explorados os tipos de recursos existentes e necessários para a execução das atividades analisadas (2.1.1). Serão ainda analisadas as quantidades existentes de cada tipo de recursos e a sua disponibilidade (secções 2.1.2 e 2.1.3, respetivamente). Na secção 2.2 é feita a caraterização das atividades em termos de duração (secção 2.2.1), precedências (secção 2.2.2) e recursos necessários para a sua execução (secção 2.2.3). Na secção 2.3 as atividades são representadas através de redes PERT-CPM (*Project Evaluation and Review Technique - Critical Path Method)* (2.3.1) e da rede Q-GERT (*Graphical Evaluation and Review Technique)* (secção 2.3.2). Neste relatório encontra-se ainda a definição do problema de alocação de projetos (secção 2.4), havendo a análise de requisitos (secção 2.4.1), variáveis de decisão (secção 2.4.2), definição dos objetivos (secção 2.4.3), definição de restrições (secção 2.4.4) e a formulação do modelo matemático (secção 2.4.5).

Por último, são apresentadas as conclusões (Capítulo 3) e é possível consultar as referências bibliográficas utilizadas no relatório. Adicionaram-se ainda três apêndices onde é incluido o Apêndice 1 que ilustra os questionários realizados aos colaboradores, o Apêndice 2 que contém as redes PERT-CPM desenvolvidas e o Apêndice 3 que apresenta a rede Q-GERT desenvolvida.

# **Análise de Desempenho das Variantes do Modelo Matemático Apresentadas no Relatório 2**

Neste capítulo apresentam-se os resultados (secção 2.1.) e a discussão sobre os mesmos (secção 2.2.).

Efetivamente, para provar a eficácia do modelo proposto no relatório 2 e suas variantes é necessário a realização de testes. Decidiu-se realizar dois tipos de teste. Primeiramente, é necessário testar o modelo com instâncias de diferentes dimensões. É ainda necessário estudar o comportamento do modelo para dois tipos de situação: quando os recursos têm capacidade igual para a realização das tarefas (caso equiparado a máquinas paralelas idênticas); quando os recursos têm capacidades diferentes (caso equiparado a máquinas paralelas não idênticas).

Numa primeira fase, foram produzidas 30 instâncias com 3 recursos e 15 projetos, cujos esforço de processamento de cada projeto foram encontrados aleatoriamente entre os valores 120 e 950 horas, seguindo, portanto, uma distribuição uniforme. Para estas 30 instâncias serão testadas as 3 variantes do modelo proposto. Estas serão ainda testadas com a matriz de habilidade igual para todos os recursos (capacidade igual) e com a matriz de habilidade com diferentes valores de capacidade (com valores entre 85% e 110%).

De seguida, repetiu-se o mesmo processo, mas com instâncias com 4 recursos e 20 projetos.

Os testes realizados avaliam-se por 3 fatores: amplitude, desvio padrão e esforço total. É expectável que nos casos de testes em que a capacidade dos recursos não tenha distinção, que o valor de esforço seja igual para as 3 variantes do modelo em cada instância.

O modelo com foco na minimização da amplitude será denominado de variante 1, o modelo com foco na minimização do desvio padrão será intitulado de variante 2 e o modelo de minimização de esforço será denominado variante 3.

## **2.1. Apresentação de Resultados**

Nesta secção apresentam-se os resultados dos testes realizados. Na secção 2.1.1. encontram-se os resultados para os testes das instâncias com 3 recursos e 15 projetos, com recursos com capacidade igual. Na secção 2.1.2. encontram-se os resultados para os testes das instâncias com 3 recursos e 15 projetos com recursos com capacidade diferente. Na secção 2.1.3. encontram-se os resultados para os testes das instâncias com 4 recursos e 20 projetos com recursos com capacidade igual. Na secção 2.1.4. encontram-se os resultados para os testes das instâncias com 4 recursos e 20 projetos com recursos com capacidade diferente.

### **Resultados dos Testes com Instâncias de 3 Recursos e 15 Projetos: capacidade igual dos recursos**

Na Tabela 1 encontram-se os resultados dos testes para as 30 instâncias com 3 recursos, com capacidade igual e 15 projetos. Efetivamente, como já era esperado, o esforço total de trabalho, para cada instância, é igual para as 3 variantes do modelo, visto que a capacidade dos recursos é igual.

Tabela 1 - Resultados Instância 3x15: capacidade igual

| **Instância** | **Variante** | **FO** | **Amplitude** | **Desvio Padrão** | **Esforço** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7907,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7907,00 |
| Variante 3 | 7907,00 | 924,00 | 398,00 | 7907,00 |
| 2 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 6652,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 6652,00 |
| Variante 3 | 6652,00 | 1710,00 | 699,00 | 6652,00 |
| 3 | Variante 1 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 6654,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 6654,00 |
| Variante 3 | 6654,00 | 1308,00 | 541,00 | 6654,00 |
| 4 | Variante 1 | 4,00 | 4,00 | 1,89 | 7891,00 |
| Variante 2 | 4,00 | 4,00 | 1,89 | 7891,00 |
| Variante 3 | 7891,00 | 2150,00 | 999,00 | 7891,00 |
| 5 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7786,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7786,00 |
| Variante 3 | 7786,00 | 2219,00 | 914,00 | 7786,00 |
| 6 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 6041,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 6041,00 |
| Variante 3 | 6041,00 | 1957,00 | 830,00 | 6041,00 |
| 7 | Variante 1 | 4,00 | 4,00 | 1,89 | 8170,00 |
| Variante 2 | 4,00 | 4,00 | 1,89 | 8170,00 |
| Variante 3 | 8170,00 | 1069,00 | 455,00 | 8170,00 |
| 8 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8126,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8126,00 |
| Variante 3 | 8126,00 | 1195,00 | 488,00 | 8126,00 |
| 9 | Variante 1 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 8991,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 8991,00 |
| Variante 3 | 8991,00 | 2773,00 | 1305,00 | 8991,00 |
| 10 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8186,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8186,00 |
| Variante 3 | 8186,00 | 1892,00 | 872,00 | 8186,00 |
| 11 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7888,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7888,00 |
| Variante 3 | 7888,00 | 3375,00 | 1492,00 | 7888,00 |
| 12 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8370,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8370,00 |
| Variante 3 | 8370,00 | 3153,00 | 1360,00 | 8370,00 |
| 13 | Variante 1 | 3,00 | 3,00 | 1,25 | 7937,00 |
| Variante 2 | 3,00 | 3,00 | 1,25 | 7937,00 |
| Variante 3 | 7937,00 | 2126,00 | 880,00 | 7937,00 |
| 14 | Variante 1 | 3,00 | 3,00 | 1,25 | 7724,00 |
| Variante 2 | 3,00 | 3,00 | 1,25 | 7724,00 |
| Variante 3 | 7724,00 | 1629,00 | 665,00 | 7724,00 |
| 15 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7447,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7447,00 |
| Variante 3 | 7447,00 | 965,00 | 430,00 | 7447,00 |
| 16 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8776,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8776,00 |
| Variante 3 | 8776,00 | 880,00 | 376,00 | 8776,00 |
| 17 | Variante 1 | 3,00 | 3,00 | 1,25 | 9779,00 |
| Variante 2 | 3,00 | 3,00 | 1,25 | 9779,00 |
| Variante 3 | 9779,00 | 1862,00 | 761,00 | 9779,00 |
| 18 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8828,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8828,00 |
| Variante 3 | 8828,00 | 2067,00 | 968,00 | 8828,00 |
| 19 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7948,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7948,00 |
| Variante 3 | 7948,00 | 2146,00 | 876,00 | 7948,00 |
| 20 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8413,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8413,00 |
| Variante 3 | 8413,00 | 2767,00 | 1168,00 | 8413,00 |
| 21 | Variante 1 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 7992,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 7992,00 |
| Variante 3 | 7992,00 | 1875,00 | 812,00 | 7992,00 |
| 22 | Variante 1 | 3,00 | 3,00 | 1,25 | 8846,00 |
| Variante 2 | 3,00 | 3,00 | 1,25 | 8846,00 |
| Variante 3 | 8846,00 | 4089,00 | 1706,00 | 8846,00 |
| 23 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7754,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7754,00 |
| Variante 3 | 7754,00 | 991,00 | 431,00 | 7754,00 |
| 24 | Variante 1 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 6921,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 6921,00 |
| Variante 3 | 6921,00 | 803,00 | 328,38 | 6921,00 |
| 25 | Variante 1 | 4,00 | 4,00 | 1,89 | 8566,00 |
| Variante 2 | 4,00 | 4,00 | 1,89 | 8566,00 |
| Variante 3 | 8566,00 | 1644,00 | 702,48 | 8566,00 |
| 26 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8737,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8737,00 |
| Variante 3 | 8737,00 | 606,00 | 278,00 | 8737,00 |
| 27 | Variante 1 | 4,00 | 4,00 | 1,70 | 8623,00 |
| Variante 2 | 4,00 | 4,00 | 1,70 | 8623,00 |
| Variante 3 | 8623,00 | 1118,00 | 507,36 | 8623,00 |
| 28 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8206,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 8206,00 |
| Variante 3 | 8206,00 | 2379,00 | 1049,47 | 8206,00 |
| 29 | Variante 1 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 8634,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 2,00 | 0,82 | 8634,00 |
| Variante 3 | 8634,00 | 2165,00 | 955,94 | 8634,00 |
| 30 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7133,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 7133,00 |
| Variante 3 | 7133,00 | 1614,00 | 691,93 | 7133,00 |

### **Resultados dos Testes com Instâncias de 3 Recursos e 15 Projetos: capacidade diferente dos recursos**

Na Tabela 2 encontram-se os resultados dos testes para as 30 instâncias com 3 recursos, com capacidade diferente e 15 projetos. Neste caso, como se confirma na Tabela 2, o valor de esforço total de trabalho para cada instância varia entre as variantes, sendo que, neste caso, é sempre igual para a variante 1 e 2.

Tabela 2 - Resultados Instância 3x15: capacidade diferente

| **Instância** | **Variante** | **FO** | **Amplitude** | **Desvio Padrão** | **Esforço** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Variante 1 | 0,53 | 0,53 | 0,22 | 8002,22 |
| Variante 2 | 0,53 | 0,53 | 0,22 | 8002,22 |
| Variante 3 | 7443,22 | 904,89 | 371,16 | 7443,22 |
| 2 | Variante 1 | 0,63 | 0,63 | 0,26 | 6924,60 |
| Variante 2 | 0,63 | 0,63 | 0,26 | 6924,60 |
| Variante 3 | 6513,98 | 2217,02 | 910,52 | 6513,98 |
| 3 | Variante 1 | 0,13 | 0,13 | 0,06 | 7166,93 |
| Variante 2 | 0,13 | 0,13 | 0,06 | 7166,93 |
| Variante 3 | 6479,18 | 1078,22 | 504,92 | 6479,18 |
| 4 | Variante 1 | 0,46 | 0,46 | 0,19 | 8080,59 |
| Variante 2 | 0,46 | 0,46 | 0,19 | 8080,59 |
| Variante 3 | 7611,43 | 3938,04 | 1607,74 | 7611,43 |
| 5 | Variante 1 | 1,32 | 1,32 | 0,60 | 7631,04 |
| Variante 2 | 1,32 | 1,32 | 0,60 | 7631,04 |
| Variante 3 | 7332,31 | 703,06 | 316,26 | 7332,31 |
| 6 | Variante 1 | 0,23 | 0,23 | 0,10 | 6212,79 |
| Variante 2 | 0,23 | 0,23 | 0,10 | 6212,79 |
| Variante 3 | 5809,27 | 1231,83 | 523,97 | 5809,27 |
| 7 | Variante 1 | 0,66 | 0,66 | 0,27 | 8266,64 |
| Variante 2 | 0,66 | 0,66 | 0,27 | 8266,64 |
| Variante 3 | 7736,94 | 1566,45 | 662,90 | 7736,94 |
| 8 | Variante 1 | 0,99 | 0,99 | 0,45 | 8459,10 |
| Variante 2 | 0,99 | 0,99 | 0,45 | 8459,10 |
| Variante 3 | 7714,66 | 698,94 | 308,36 | 7714,66 |
| 9 | Variante 1 | 0,42 | 0,42 | 0,17 | 8986,98 |
| Variante 2 | 0,42 | 0,42 | 0,17 | 8986,98 |
| Variante 3 | 8591,28 | 3481,59 | 1631,94 | 8591,28 |
| 10 | Variante 1 | 1,39 | 1,39 | 0,58 | 8240,65 |
| Variante 2 | 1,39 | 1,39 | 0,58 | 8240,65 |
| Variante 3 | 7804,11 | 2505,79 | 1028,82 | 7804,11 |
| 11 | Variante 1 | 0,51 | 0,51 | 0,22 | 8040,24 |
| Variante 2 | 0,51 | 0,51 | 0,22 | 8040,24 |
| Variante 3 | 7605,05 | 1891,90 | 776,54 | 7605,05 |
| 12 | Variante 1 | 1,11 | 1,11 | 0,47 | 8770,54 |
| Variante 2 | 1,11 | 1,11 | 0,47 | 8770,54 |
| Variante 3 | 8038,67 | 2478,75 | 1018,83 | 8038,67 |
| 13 | Variante 1 | 0,71 | 0,71 | 0,31 | 8516,77 |
| Variante 2 | 0,71 | 0,71 | 0,31 | 8516,77 |
| Variante 3 | 7944,35 | 2959,38 | 1312,14 | 7944,35 |
| 14 | Variante 1 | 1,21 | 1,21 | 0,50 | 8137,46 |
| Variante 2 | 1,21 | 1,21 | 0,50 | 8137,46 |
| Variante 3 | 7353,25 | 3253,81 | 1330,27 | 7353,25 |
| 15 | Variante 1 | 0,87 | 0,87 | 0,41 | 7695,83 |
| Variante 2 | 0,87 | 0,87 | 0,41 | 7695,83 |
| Variante 3 | 7158,05 | 4589,63 | 2022,39 | 7158,05 |
| 16 | Variante 1 | 0,67 | 0,67 | 0,27 | 9412,31 |
| Variante 2 | 0,67 | 0,67 | 0,27 | 9412,31 |
| Variante 3 | 8489,84 | 2449,30 | 1133,63 | 8489,84 |
| 17 | Variante 1 | 0,50 | 0,50 | 0,21 | 10270,56 |
| Variante 2 | 0,50 | 0,50 | 0,21 | 10270,56 |
| Variante 3 | 9328,12 | 2597,87 | 1140,12 | 9328,12 |
| 18 | Variante 1 | 0,76 | 0,76 | 0,31 | 9219,62 |
| Variante 2 | 0,76 | 0,76 | 0,31 | 9219,62 |
| Variante 3 | 8481,05 | 3877,21 | 1664,77 | 8481,05 |
| 19 | Variante 1 | 0,56 | 0,56 | 0,26 | 8084,80 |
| Variante 2 | 0,56 | 0,56 | 0,26 | 8084,80 |
| Variante 3 | 7621,23 | 1828,09 | 765,36 | 7621,23 |
| 20 | Variante 1 | 0,35 | 0,35 | 0,14 | 8693,99 |
| Variante 2 | 0,35 | 0,35 | 0,14 | 8693,99 |
| Variante 3 | 8245,75 | 1503,55 | 615,13 | 8245,75 |
| 21 | Variante 1 | 0,39 | 0,39 | 0,16 | 8339,66 |
| Variante 2 | 0,39 | 0,39 | 0,16 | 8339,66 |
| Variante 3 | 7572,04 | 3296,57 | 1349,62 | 7572,04 |
| 22 | Variante 1 | 0,47 | 0,47 | 0,19 | 8923,28 |
| Variante 2 | 0,47 | 0,47 | 0,19 | 8923,28 |
| Variante 3 | 8432,19 | 511,01 | 220,64 | 8432,00 |
| 23 | Variante 1 | 0,62 | 0,62 | 0,28 | 8261,37 |
| Variante 2 | 0,62 | 0,62 | 0,28 | 8261,37 |
| Variante 3 | 7654,60 | 1095,28 | 451,67 | 7654,60 |
| 24 | Variante 1 | 0,21 | 0,21 | 0,09 | 6908,15 |
| Variante 2 | 0,21 | 0,21 | 0,09 | 6908,15 |
| Variante 3 | 6603,19 | 2031,44 | 852,78 | 6603,19 |
| 25 | Variante 1 | 0,11 | 0,11 | 0,05 | 8590,24 |
| Variante 2 | 0,11 | 0,11 | 0,05 | 8590,24 |
| Variante 3 | 8175,95 | 3062,61 | 1327,88 | 8175,95 |
| 26 | Variante 1 | 1,09 | 1,09 | 0,44 | 8987,79 |
| Variante 2 | 1,09 | 1,09 | 0,44 | 8987,79 |
| Variante 3 | 8544,24 | 2970,14 | 1214,87 | 8544,24 |
| 27 | Variante 1 | 0,78 | 0,78 | 0,35 | 8875,81 |
| Variante 2 | 0,78 | 0,78 | 0,35 | 8875,81 |
| Variante 3 | 8086,29 | 1378,43 | 564,33 | 8086,29 |
| 28 | Variante 1 | 0,08 | 0,08 | 0,03 | 8480,54 |
| Variante 2 | 0,08 | 0,08 | 0,03 | 8480,54 |
| Variante 3 | 7933,03 | 2804,97 | 1199,93 | 7933,03 |
| 29 | Variante 1 | 0,65 | 0,65 | 0,27 | 8650,46 |
| Variante 2 | 0,65 | 0,65 | 0,27 | 8650,46 |
| Variante 3 | 8286,13 | 2293,66 | 980,33 | 8286,13 |
| 30 | Variante 1 | 0,32 | 0,32 | 0,15 | 7468,90 |
| Variante 2 | 0,32 | 0,32 | 0,15 | 7468,90 |
| Variante 3 | 7063,04 | 2823,89 | 1153,18 | 7063,04 |

### **Resultados dos Testes com Instâncias de 4 Recursos e 20 Projetos: capacidade igual dos recursos**

Na Tabela 3 encontram-se os resultados dos testes para as 30 instâncias com 4 recursos, com capacidade igual e 20 projetos. Efetivamente, como já referido na secção 2.1.1., o esforço total de trabalho, para cada instância é igual para as 3 variantes do modelo, visto que a capacidade dos recursos é igual.

Tabela 3 - Resultados Instância 4x20: capacidade igual

| **Instância** | **Variante** | **FO** | **Amplitude** | **Desvio Padrão** | **Esforço** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11008,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11008,00 |
| Variante 3 | 11008,00 | 3529,00 | 1073,77 | 11008,00 |
| 2 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 10010,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 10010,00 |
| Variante 3 | 10010,00 | 3384,00 | 681,18 | 10010,00 |
| 3 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 11315,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 11315,00 |
| Variante 3 | 11315,00 | 3387,00 | 1115,76 | 11315,00 |
| 4 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 9634,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 1,00 | 0,50 | 9634,00 |
| Variante 3 | 9634,00 | 2984,00 | 820,89 | 9634,00 |
| 5 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10452,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10452,00 |
| Variante 3 | 10452,00 | 2786,00 | 828,00 | 10452,00 |
| 6 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 11650,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 11650,00 |
| Variante 3 | 11650,00 | 4372,00 | 848,00 | 11650,00 |
| 7 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9940,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9940,00 |
| Variante 3 | 9940,00 | 3404,00 | 665,00 | 9940,00 |
| 8 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11052,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11052,00 |
| Variante 3 | 11052,00 | 3904,00 | 1154,71 | 11052,00 |
| 9 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 13526,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 2,00 | 0,87 | 13526,00 |
| Variante 3 | 13526,00 | 4369,00 | 1386,29 | 13526,00 |
| 10 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10336,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10336,00 |
| Variante 3 | 10336,00 | 3830,00 | 1280,04 | 10336,00 |
| 11 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11020,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11020,00 |
| Variante 3 | 11020,00 | 4326,00 | 992,53 | 11020,00 |
| 12 | Variante 1 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 12244,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 12244,00 |
| Variante 3 | 12244,00 | 3851,00 | 1170,00 | 12244,00 |
| 13 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,5 | 9126,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 1,00 | 0,5 | 9126,00 |
| Variante 3 | 9126,00 | 3320,00 | 1024,06 | 9126,00 |
| 14 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 8582,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 8582,00 |
| Variante 3 | 8582,00 | 2520,00 | 981,00 | 8582,00 |
| 15 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9464,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9464,00 |
| Variante 3 | 9464,00 | 4201,00 | 1182,44 | 9464,00 |
| 16 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 10833,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 10833,00 |
| Variante 3 | 10833,00 | 4360,00 | 956,79 | 10833,00 |
| 17 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 10199,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 10199,00 |
| Variante 3 | 10199,00 | 3357,00 | 1205,80 | 10199,00 |
| 18 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 11166,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 1,00 | 0,50 | 11166,00 |
| Variante 3 | 11166,00 | 2969,00 | 911,05 | 11166,00 |
| 19 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10784,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10784,00 |
| Variante 3 | 10784,00 | 4836,00 | 1265,63 | 10784,00 |
| 20 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10760,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10760,00 |
| Variante 3 | 10760,00 | 4729,00 | 1209,88 | 10760,00 |
| 21 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9828,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9828,00 |
| Variante 3 | 9828,00 | 3928,00 | 947,76 | 9828,00 |
| 22 | Variante 1 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 8592,00 |
| Variante 2 | 2,00 | 2,00 | 0,71 | 8592,00 |
| Variante 3 | 8592,00 | 3568,00 | 1209,48 | 8592,00 |
| 23 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 11663,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 11663,00 |
| Variante 3 | 11663,00 | 3935,00 | 605,67 | 11663,00 |
| 24 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9976,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9976,00 |
| Variante 3 | 9976,00 | 2938,00 | 879,00 | 9976,00 |
| 25 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 12543,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 12543,00 |
| Variante 3 | 12543,00 | 5355,00 | 1290,28 | 12543,00 |
| 26 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10708,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10708,00 |
| Variante 3 | 10708,00 | 3717,00 | 606,25 | 10708,00 |
| 27 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 11865,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 11865,00 |
| Variante 3 | 11865,00 | 5160,00 | 1309,09 | 11865,00 |
| 28 | Variante 1 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 10435,00 |
| Variante 2 | 1,00 | 1,00 | 0,43 | 10435,00 |
| Variante 3 | 10435,00 | 2541,00 | 875,59 | 10435,00 |
| 29 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12936,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12936,00 |
| Variante 3 | 12936,00 | 6064,00 | 1727,32 | 12936,00 |
| 30 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11900,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11900,00 |
| Variante 3 | 11900,00 | 4914,00 | 1140,45 | 11900,00 |

### **Resultados dos Testes com Instâncias de 4 Recursos e 20 Projetos: capacidade diferente dos recursos**

Na Tabela 4 encontram-se os resultados dos testes para as 30 instâncias com 4 recursos, com capacidade diferente e 20 projetos.

Tabela 4 - Resultados Instância 4x20: capacidade diferente

| **Instância** | **Variante** | **FO** | **Amplitude** | **Desvio Padrão** | **Esforço** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Variante 1 | 0,19 | 0,19 | 0,07 | 11073,05 |
| Variante 2 | 0,21 | 0,19 | 0,07 | 11073,05 |
| Variante 3 | 10456,44 | 3869,23 | 1328,74 | 10456,44 |
| 2 | Variante 1 | 0,09 | 0,09 | 0,03 | 10363,63 |
| Variante 2 | 0,11 | 0,09 | 0,03 | 10363,63 |
| Variante 3 | 9596,29 | 3499,97 | 885,55 | 9596,29 |
| 3 | Variante 1 | 0,15 | 0,15 | 0,05 | 11609,48 |
| Variante 2 | 0,18 | 0,15 | 0,05 | 11609,48 |
| Variante 3 | 10842,30 | 3648,09 | 850,64 | 10842,30 |
| 4 | Variante 1 | 0,27 | 0,27 | 0,11 | 9719,21 |
| Variante 2 | 0,41 | 0,32 | 0,12 | 9967,24 |
| Variante 3 | 9070,92 | 2595,90 | 229,76 | 9070,92 |
| 5 | Variante 1 | 0,24 | 0,24 | 0,09 | 10708,62 |
| Variante 2 | 0,25 | 0,24 | 0,09 | 10708,62 |
| Variante 3 | 10656,66 | 4066,89 | 1203,70 | 10656,66 |
| 6 | Variante 1 | 0,18 | 0,18 | 0,07 | 8990,24 |
| Variante 2 | 0,19 | 0,18 | 0,07 | 8990,24 |
| Variante 3 | 8111,83 | 2943,97 | 790,91 | 8111,83 |
| 7 | Variante 1 | 0,20 | 0,20 | 0,08 | 10542,98 |
| Variante 2 | 0,28 | 0,20 | 0,08 | 10542,98 |
| Variante 3 | 9437,18 | 2753,18 | 408,66 | 9437,18 |
| 8 | Variante 1 | 0,20 | 0,20 | 0,08 | 11452,90 |
| Variante 2 | 0,26 | 0,20 | 0,08 | 11452,90 |
| Variante 3 | 10628,69 | 4437,04 | 1354,84 | 10628,69 |
| 9 | Variante 1 | 0,23 | 0,23 | 0,08 | 14081,19 |
| Variante 2 | 0,26 | 0,23 | 0,08 | 14081,19 |
| Variante 3 | 12883,95 | 4838,05 | 1081,80 | 12883,95 |
| 10 | Variante 1 | 0,16 | 0,16 | 0,06 | 10659,39 |
| Variante 2 | 0,19 | 0,16 | 0,06 | 10659,39 |
| Variante 3 | 9845,41 | 3021,97 | 542,60 | 9845,41 |
| 11 | Variante 1 | 0,29 | 0,29 | 0,11 | 11381,32 |
| Variante 2 | 0,31 | 0,29 | 0,11 | 11381,32 |
| Variante 3 | 10489,51 | 4532,76 | 1299,56 | 10489,51 |
| 12 | Variante 1 | 0,30 | 0,30 | 0,12 | 12342,85 |
| Variante 2 | 0,40 | 0,38 | 0,15 | 12659,57 |
| Variante 3 | 12655,50 | 5109,40 | 1157,31 | 12325,50 |
| 13 | Variante 1 | 0,09 | 0,09 | 0,05 | 9375,34 |
| Variante 2 | 0,18 | 0,09 | 0,05 | 9375,34 |
| Variante 3 | 8605,56 | 3479,19 | 1236,43 | 8605,56 |
| 14 | Variante 1 | 0,17 | 0,17 | 0,08 | 9047,89 |
| Variante 2 | 0,29 | 0,17 | 0,08 | 9047,89 |
| Variante 3 | 8217,36 | 3557,83 | 890,36 | 8217,36 |
| 15 | Variante 1 | 0,17 | 0,17 | 0,06 | 9617,83 |
| Variante 2 | 0,21 | 0,17 | 0,06 | 9617,83 |
| Variante 3 | 8864,01 | 3610,03 | 861,70 | 8864,01 |
| 16 | Variante 1 | 0,11 | 0,11 | 0,04 | 11085,67 |
| Variante 2 | 0,13 | 0,11 | 0,04 | 11085,67 |
| Variante 3 | 10167,12 | 2885,61 | 486,80 | 10167,12 |
| 17 | Variante 1 | 0,12 | 0,12 | 0,05 | 10976,21 |
| Variante 2 | 0,16 | 0,12 | 0,05 | 10976,21 |
| Variante 3 | 9946,50 | 3800,32 | 877,21 | 9946,50 |
| 18 | Variante 1 | 0,19 | 0,19 | 0,07 | 11376,43 |
| Variante 2 | 0,24 | 0,19 | 0,07 | 11376,43 |
| Variante 3 | 10713,21 | 4737,93 | 1736,81 | 10713,21 |
| 19 | Variante 1 | 0,07 | 0,07 | 0,02 | 10815,35 |
| Variante 2 | 0,07 | 0,07 | 0,02 | 10815,35 |
| Variante 3 | 10258,35 | 3316,89 | 446,37 | 10258,35 |
| 20 | Variante 1 | 0,50 | 0,50 | 0,21 | 10926,47 |
| Variante 2 | 0,60 | 0,57 | 0,21 | 10913,67 |
| Variante 3 | 10151,40 | 3736,57 | 992,57 | 10151,40 |
| 21 | Variante 1 | 0,16 | 0,16 | 0,07 | 9774,45 |
| Variante 2 | 0,29 | 0,16 | 0,07 | 9774,45 |
| Variante 3 | 9330,30 | 3590,81 | 788,63 | 9330,30 |
| 22 | Variante 1 | 0,22 | 0,22 | 0,08 | 9083,04 |
| Variante 2 | 0,24 | 0,22 | 0,09 | 8886,76 |
| Variante 3 | 8154,28 | 2810,26 | 794,22 | 8154,28 |
| 23 | Variante 1 | 0,23 | 0,23 | 0,10 | 11949,29 |
| Variante 2 | 0,40 | 0,38 | 0,14 | 11975,99 |
| Variante 3 | 11174,46 | 4260,34 | 930,79 | 11174,46 |
| 24 | Variante 1 | 0,15 | 0,15 | 0,06 | 10130,49 |
| Variante 2 | 0,22 | 0,15 | 0,06 | 10130,49 |
| Variante 3 | 9427,55 | 3573,28 | 804,22 | 9427,55 |
| 25 | Variante 1 | 0,18 | 0,18 | 0,07 | 12760,85 |
| Variante 2 | 0,35 | 0,35 | 0,14 | 12789,05 |
| Variante 3 | 11881,22 | 3415,89 | 719,02 | 11881,22 |
| 26 | Variante 1 | 0,10 | 0,10 | 0,04 | 10996,72 |
| Variante 2 | 0,17 | 0,10 | 0,04 | 10996,72 |
| Variante 3 | 10274,59 | 3375,88 | 542,73 | 10274,59 |
| 27 | Variante 1 | 0,28 | 0,28 | 0,11 | 12428,42 |
| Variante 2 | 0,36 | 0,34 | 0,12 | 12378,09 |
| Variante 3 | 11424,32 | 4539,78 | 1529,11 | 11424,32 |
| 28 | Variante 1 | 0,10 | 0,10 | 0,04 | 11050,84 |
| Variante 2 | 0,12 | 0,10 | 0,04 | 11050,84 |
| Variante 3 | 9997,66 | 3161,70 | 525,37 | 9997,66 |
| 29 | Variante 1 | 0,29 | 0,29 | 0,11 | 13106,51 |
| Variante 2 | 0,39 | 0,29 | 0,11 | 13106,51 |
| Variante 3 | 12250,45 | 4809,20 | 1049,92 | 12250,45 |
| 30 | Variante 1 | 0,13 | 0,13 | 0,05 | 12287,22 |
| Variante 2 | 0,28 | 0,13 | 0,05 | 12287,22 |
| Variante 3 | 11867,20 | 3245,66 | 534,75 | 11867,20 |

## **2.2 Discussão de Resultados**

Nesta secção discutem-se os resultados dos testes realizados.

Os resultados das Tabelas 1, 2, 3 e 4 foram normalizados. Esta normalização é possível ser consultada nas Tabelas X,Y, Z e K do Apêndice 1.

Primeiramente, é conduzida uma análise de estatística descritiva sobre os resultados obtidos.

Na Tabela 5 encontram-se os valores da média, mediana, moda e desvio padrão de cada fator (amplitude, desvio padrão e esforço total). Esta análise foi realizada para os resultados das Tabelas 1, 2, 3 e 4, mas também para os valores normalizados dos resultados, que se encontram nas Tabelas X, Y, Z e K do Apêndice 1.

Tabela 5 - Resultados Análise Estatística Descritiva

|  |  |  | **Variante 1** | **Variante 2** | **Variante 3** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Valores Originais | Amplitude | Média | 0,8041 | 0,8173 | 2926,9662 |
| Mediana | 0,5900 | 0,5950 | 2977,0700 |
| Moda | 1,0000 | 1,0000 | - |
| Desvio Padrão | 0,9030 | 0,9068 | 1233,00 |
| Valores Normalizados | Média | 0,0000 | 1,7054 | 99,9500 |
| Mediana | 0,0000 | 0,0000 | 99,9800 |
| Moda | 0,0000 | 0,0000 | 99,9900 |
| Desvio Padrão | 0,0000 | 7,7880 | 0,0665 |
| Valores Originais | Desvio Padrão | Média | 0,3648 | 0,3668 | 926,0446 |
| Mediana | 0,2600 | 0,2600 | 900,4400 |
| Moda | 0,4700 | 0,4700 | 665,0000 |
| Desvio Padrão | 0,4136 | 0,4380 | 370,500 |
| Valores Normalizados | Média | 0,0000 | 1,4073 | 99,9416 |
| Mediana | 0,0000 | 0,0000 | 99,9700 |
| Moda | 0,0000 | 0,0000 | 99,9900 |
| Desvio Padrão | 0,0000 | 6,829 | 0,1080 |
| Valores Originais | Esforço Total | Média | 9520,7230 | 9523,725 | 9193,129 |
| Mediana | 9065,4650 | 9019,445 | 8756,5000 |
| Moda | - | - | - |
| Desvio Padrão | 1714,0000 | 1720,0000 | 1678,0000 |
| Valores Normalizados | Média | 3,4394 | 3,4635 | 0,0000 |
| Mediana | 0,0070 | 1,320 | 0,0000 |
| Moda | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| Desvio Padrão | 3,727 | 3,7120 | 0,0000 |

Pela análise da Tabela 5 é possível perceber, que, como esperado, a variante 3 não tem uma boa performance em relação aos fatores de amplitude e desvio padrão. Assim, em relação ao fator de amplitude e desvio padrão a variante que minimizou estes fatores, conduzindo a um melhor balanceamento de cargas foi a variante 1, tendo uma performance superior à variante 2 para estes fatores, como se pode confirmar nos gráficos presentes nas Figuras 1 (Amplitude) e 2 (Desvio Padrão) que representam as médias do fator amplitude e desvio padrão, respetivamente, para as duas variantes. O desvio padrão médio dos valores dos fatores amplitude e desvio padrão é também menor para a variante 1 do que para a variante 2, corroborando assim a performance superior da variante 1 em comparação à variante 2, no balanceamento de cargas.

Por sua vez, em relação ao fator de avaliação de esforço total, como já expectável, através da Tabela 5 e do gráfico da Figura 3 é possível perceber que a variante 3 tem uma melhor performance em termos de minimização de esforço total.

Uma imagem com texto, captura de ecrã, diagrama, file

Descrição gerada automaticamente

Figura 1 - Média do Fator Amplitude para as Variantes 1 e 2

Uma imagem com texto, captura de ecrã, diagrama, número

Descrição gerada automaticamente

Figura 2 - Média do Fator Desvio Padrão para as Variantes 1 e 2

Uma imagem com texto, captura de ecrã, diagrama, Retângulo

Descrição gerada automaticamente

Figura 3 - Diagrama de Bigodes Representativo do Fator Esforço para as 3 Variantes do Modelo

Embora os resultados visualizados pareçam suficientes para tirar conclusões, é necessária uma avaliação estatística.

Antes de apresentar os resultados obtidos para os testes paramétricos realizados, é necessário recordar que o teorema do limite central defende que se existir uma população com média μ e desvio padrão σ e se retirar amostras aleatórias suficientemente grandes da população, então a distribuição das médias das amostras será aproximadamente normal [1].

O Teorema Central do Limite (TCL) é um princípio fundamental da teoria estatística que descreve o comportamento das médias de uma grande quantidade de amostras independentes de uma população, independentemente da distribuição original dessa população. Ele afirma que, à medida que o tamanho das amostras aumenta, a distribuição das médias amostrais se aproxima de uma distribuição normal, independentemente da forma da distribuição original. Isso tem implicações importantes para a inferência estatística e permite usar aproximações baseadas na distribuição normal, mesmo quando a distribuição subjacente é desconhecida ou não é normal [1].

Neste seguimento, as instâncias seguem uma distribuição aproximadamente normal e podem, por conseguinte, ser utilizadas para avaliar o comportamento de procura de soluções, além de permitirem a utilização de análises estatísticas que requerem dados que seguem uma distribuição normal.

Assumindo a normalidade dos dados das 30 instâncias utilizadas em cada teste, é possível utilizar, como teste paramétrico, uma ANOVA unidirecional, que é uma extensão do teste de hipóteses T de *Student*, para analisar as médias de múltiplas populações. É de salientar que para os testes de análise estatística são utilizados os resultados normalizados.

Assim, as médias são μ1 para a variante 1, μ2 para a variante 2 e μ3 para a variante3. As hipóteses analisadas pela ANOVA são [2]:

Para cada uma das variantes do modelo são testados os 3 fatores: amplitude; desvio padrão e esforço.

Para um nível de confiança de 95%, se o valor de for inferior a 0,05 é possível rejeitar a hipótese nula. Se o valor de for superior a 0,05 não se pode rejeitar a hipótese nula, mas a mesma também não se confirma [2].

Na Tabela 6 é possível analisar os resultados dos testes ANOVA realizados. Estes foram desenvolvidos com recurso ao *software* *RStudio* [3]. Através da análise da Tabela 6, é possível concluir que todos os testes ANOVA realizados, para os fatores de avaliação da amplitude e desvio padrão, resultaram num valor menor que 0,05, pelo que se rejeita a hipótese nula de que as médias de amplitude e desvio padrão entre as 3 variantes do modelo desenvolvido são iguais.

Pode-se assim afirmar que existe pelo menos duas variantes do modelo que produzem resultados, cujas médias em termos de amplitude e desvio padrão são diferentes. No caso do esforço, para as instâncias que consideram capacidade dos recursos iguais, o valor de é superior a 0,05, o que já era esperado, visto que nestes casos, os valores de esforço são iguais nas três variantes do modelo em cada instância. No entanto, no caso da avaliação de esforço para instâncias em que se consideram as capacidades dos recursos como sendo diferentes entre si, já se obtiveram valores de inferiores a 0,05, sendo que nestes casos se pode confirmar que existe pelo menos duas variantes do modelo que produzem médias de esforço diferentes entre si.

O valor é bastante elevado para os fatores amplitude e desvio padrão, o que significa que a variação entre grupos é maior do que a variação dentro do grupo. Este facto corrobora a conclusão de que existe uma diferença estatisticamente significativa nas médias destes fatores.

Tabela 6 - Resultados do Teste ANOVA para Cada Fator de Avaliação (Amplitude, Desvio Padrão e Esforço)

| **Teste** | **Fator** | **Soma dos Quadrados** | **Valor** | **Média dos Quadrados** | **Valor** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3x15: Capacidade Igual | Amplitude | 199530,00 | 36054076,00 | 99765,00 | <2e-16 |
| Desvio Padrão | 199511,00 | 32832097,00 | 99755,00 | <2e-16 |
| 3x15: Capacidade Diferente | Amplitude | 199846,00 | 183000000,00 | 99923,00 | <2e-16 |
| Desvio Padrão | 199724,00 | 9974660,00 | 99862,00 | <2e-16 |
| Esforço | 887,5 | 201,2 | 443,7 | <2e-16 |
| 4x20: Capacidade Igual | Amplitude | 196656,00 | 3540,00 | 98328,00 | <2e-16 |
| Desvio Padrão | 195139,00 | 3314,00 | 97569,00 | <2e-16 |
| 4x20: Capacidade Diferente | Amplitude | 190196,00 | 1938,00 | 95098,00 | <2e-16 |
| Desvio Padrão | 184973,00 | 2105,00 | 92486,00 | <2e-16 |
| Esforço | 1016,70 | 211,30 | 508,40 | <2e-16 |

Como existe pelo menos uma população que teve um desempenho diferente das restantes, é necessário efetuar um teste *Post-Hoc*, neste caso o Teste *Scheffé*, para perceber quais as que levaram a este resultado.

Um teste *Post-Hoc* é uma análise estatística realizada após um teste de hipótese inicial, neste caso após o teste ANOVA, para determinar quais os grupos ou condições específicas diferem estatisticamente entre si. Esses testes são usados para fazer comparações múltiplas entre grupos ou condições, quando o teste de hipótese inicial indica uma diferença estatisticamente significativa geral, mas não fornece informações detalhadas sobre quais grupos diferem entre si [4].

O teste de *Scheffé* é um método estatístico usado após a ANOVA para comparar médias de grupos. Este controla o erro global e determina se as diferenças entre as médias são significativas. É um teste conservador e apropriado para comparações limitadas entre grupos. Comparando intervalos de confiança, ajuda a identificar quais grupos têm médias verdadeiramente distintas [5].

A hipótese nula no teste de *Scheffé* é a afirmação de que não há diferenças significativas entre as médias dos grupos que estão a ser comparados. O teste de *Scheffé* é usado para determinar se existe evidência estatística suficiente para rejeitar essa hipótese nula em favor da hipótese alternativa de que pelo menos uma das médias é diferente das outras [5].

Os resultados deste teste podem ser observados nas Tabelas 7 (Amplitude), 8 (Desvio Padrão) e 9 (Esforço), que localizam os pares que possuem um desvio relativo médio em relação à melhor solução que podem ser considerados semelhantes.

Efetivamente, em relação aos fatores amplitude (Tabela 7) e desvio padrão (Tabela 8), a diferença entre as variantes 1 e 2 não se mostrou significativa (valor de superior a 0,05), para os testes de dimensão mais pequena (3 recursos e 15 projetos), mas mostrou-se significativa ( inferior a 0,05) para o teste de dimensão maior (4 recursos e 20 projetos) com capacidade diferente dos recursos. Sendo que, através das tabelas 7 e 8 é possível corroborar a superioridade de performance da variante 1 face à variante 2 para o balanceamento da carga de trabalho.

É possível ainda concluir que as variantes 1 e 2 têm uma performance muito superior que a variante 3, em termos de amplitude e desvio padrão, o que era expectável, visto que estas duas variantes visam o balanceamento da carga de trabalho.

Por sua vez, em relação ao esforço (Tabela 9), é possível verificar que, a variante 3 produz resultados de esforço inferiores às variantes 1 e 2, tendo uma performance superior em relação a este fator, o que já era esperado, visto que o objetivo desta variante é a minimização do esforço.

Tabela 7 - Resultados do Teste de Scheffé para o Fator de Avaliação de Amplitude

|  |  |  | **Média de Desvio** | **Valor** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 3x15: capacidade igual | Variante 1 | Variante 2 | -1,279e-14 | 1,00 |
| Variante 3 | -99,882 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 1,279e-14 | 1,00 |
| Variante 3 | -99,882 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | 99,882 | <2e-16 |
| Variante 2 | 99,88 | <2e-16 |
| 3x15: capacidade diferente | Variante 1 | Variante 2 | -1,089e-14 | 1,00 |
| Variante 3 | -99,956 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 1,089e-14 | 1,00 |
| Variante 3 | -99,956 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | 99,956 | <2e-16 |
| Variante 2 | 99,956 | <2e-16 |
| 4x20: capacidade igual | Variante 1 | Variante 2 | -1,667 | 0,4754 |
| Variante 3 | -99,983 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 1,667 | 0,4754 |
| Variante 3 | -98,317 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | 99,983 | <2e-16 |
| Variante 2 | 98,317 | <2e-16 |
| 4x20: capacidade diferente | Variante 1 | Variante 2 | -5,155 | 0,0206 |
| Variante 3 | -99,993 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 5,155 | 0,0206 |
| Variante 3 | -94,838 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | 99,993 | <2e-16 |
| Variante 2 | 94,838 | <2e-16 |

Tabela 8 - Resultados do Teste de Scheffé para o Fator de Avaliação de Desvio Padrão

|  |  |  | **Média de Desvio** | **Valor** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 3x15: capacidade igual | Variante 1 | Variante 2 | -1,348e-13 | 1,00 |
| Variante 3 | -99,883 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 1,348e-13 | 1,00 |
| Variante 3 | -99,883 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | 99,883 | <2e-16 |
| Variante 2 | 99,883 | <2e-16 |
| 3x15: capacidade diferente | Variante 1 | Variante 2 | -8,148e-14 | 1,00 |
| Variante 3 | -99,933 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 8,148e-14 | 1,00 |
| Variante 3 | -99,933 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | 99,933 | <2e-16 |
| Variante 2 | 99,933 | <2e-16 |
| 4x20: Capacidade Igual | Variante 1 | Variante 2 | -0,451 | 0,281 |
| Variante 3 | -99,002 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 0,451 | 0,281 |
| Variante 3 | -95,467 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | 99,002 | <2e-16 |
| Variante 2 | 95,467 | <2e-16 |
| 4x20: Capacidade Diferente | Variante 1 | Variante 2 | -4,211 | 0,0394 |
| Variante 3 | -99,989 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 4,211 | 0,0394 |
| Variante 3 | -95,778 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | 99,989 | <2e-16 |
| Variante 2 | 97,778 | <2e-16 |

Tabela 9 - Resultados do Teste de Scheffé para o Fator de Avaliação de Esforço

|  |  |  | **Média de Desvio** | **Valor** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 3x15: Capacidade Diferente | Variante 1 | Variante 2 | -3,553e-15 | 1,00 |
| Variante 3 | 6,656 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 3,553e-15 | 1,00 |
| Variante 3 | 6,656 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | -6,656 | <2e-16 |
| Variante 2 | -6,656 | <2e-16 |
| 4x20: Capacidade Diferente | Variante 1 | Variante 2 | -0,0588 | 0,9896 |
| Variante 3 | 7,2222 | <2e-16 |
| Variante 2 | Variante 1 | 0,0588 | 0,9896 |
| Variante 3 | 7,2810 | <2e-16 |
| Variante 3 | Variante 1 | -7,2222 | <2e-16 |
| Variante 2 | -7,2810 | <2e-16 |

Em suma, é possível concluir que a variante 1 tem uma performance superior à variante 2 para o balanceamento das cargas. Esta conclusão foi retirada a partir da análise de estatística descritiva e posteriormente corroborada pelo teste de *Scheffé*. Conclui-se assim que, para o objetivo de balanceamento da carga de trabalho a variante 1 tem uma performance superior que as demais variantes e que a variante 3 é efetivamente a que minimiza o esforço total.

# **Modelo de Simulação: As Is**

# **Heurísticas de Alocação para Balanceamento de Cargas**

# **Análise Estatística Comparativa das Heurísticas Apresentadas**

# **Implementação Computacional**

# **Conclusão**

# **Referências Bibliográficas**

[1] S. G. Kwak and J. H. Kim, “Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics,” *Korean J Anesthesiol*, vol. 70, no. 2, pp. 144–156, 2017.

[2] A. Ross and V. L. Willson, “One-way anova,” in *Basic and advanced statistical tests*, Brill, 2017, pp. 21–24.

[3] POSIT, “Software R Studio.” 2022. Accessed: Dec. 27, 2022. [Online]. Available: https://posit.co/

[4] A. Hilton and R. A. Armstrong, “Statnote 6: post-hoc ANOVA tests,” *Microbiologist*, vol. 2006, pp. 34–36, 2006.

[5] J. Perlmutter and J. L. Myers, “A comparison of two procedures for testing multiple contrasts.,” *Psychol Bull*, vol. 79, no. 3, p. 181, 1973.

# **Apêndices**

## **Apêndice 1 – Normalização de Resultados**

Tabela 10 - Normalização de Resultados: instância 3X15 Capacidade Igual

| **Instância** | **Variante** | **Amplitude %** | **Desvio Padrão %** | **Esforço %** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,89 | 99,88 | 0,00 |
| 2 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,94 | 99,93 | 0,00 |
| 3 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,85 | 99,85 | 0,00 |
| 4 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,81 | 99,81 | 0,00 |
| 5 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,95 | 99,95 | 0,00 |
| 6 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,95 | 99,94 | 0,00 |
| 7 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,63 | 99,58 | 0,00 |
| 8 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,92 | 99,90 | 0,00 |
| 9 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,93 | 99,94 | 0,00 |
| 10 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,95 | 99,95 | 0,00 |
| 11 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,97 | 0,00 |
| 12 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 13 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,86 | 99,86 | 0,00 |
| 14 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,82 | 99,81 | 0,00 |
| 15 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,90 | 99,89 | 0,00 |
| 16 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,89 | 99,88 | 0,00 |
| 17 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,84 | 99,84 | 0,00 |
| 18 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,95 | 99,95 | 0,00 |
| 19 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,95 | 99,95 | 0,00 |
| 20 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,96 | 99,96 | 0,00 |
| 21 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,89 | 99,90 | 0,00 |
| 22 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,93 | 99,93 | 0,00 |
| 23 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,90 | 99,89 | 0,00 |
| 24 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,75 | 99,75 | 0,00 |
| 25 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,76 | 99,73 | 0,00 |
| 26 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,83 | 99,83 | 0,00 |
| 27 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,64 | 99,66 | 0,00 |
| 28 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,96 | 99,96 | 0,00 |
| 29 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,91 | 99,91 | 0,00 |
| 30 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,94 | 99,93 | 0,00 |

Tabela 11 - Normalização de Resultados: instância 3x15 capacidade diferente

| **Instância** | **Variante** | **Amplitude %** | **Desvio Padrão %** | **Esforço %** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,99 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,99 |
| Variante 3 | 99,94 | 99,94 | 0,00 |
| 2 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,93 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,93 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,97 | 0,00 |
| 3 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 9,60 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 9,60 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 4 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,81 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,81 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 5 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 3,91 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 3,91 |
| Variante 3 | 99,81 | 99,81 | 0,00 |
| 6 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,49 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,49 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,98 | 0,00 |
| 7 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,41 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,41 |
| Variante 3 | 99,96 | 99,96 | 0,00 |
| 8 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 8,80 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 8,80 |
| Variante 3 | 99,86 | 99,85 | 0,00 |
| 9 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 4,40 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 4,40 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 10 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,30 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,30 |
| Variante 3 | 99,94 | 99,94 | 0,00 |
| 11 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,41 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,41 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,97 | 0,00 |
| 12 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 8,34 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 8,34 |
| Variante 3 | 99,96 | 99,95 | 0,00 |
| 13 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,72 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,72 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,98 | 0,00 |
| 14 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 9,64 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 9,64 |
| Variante 3 | 99,96 | 99,96 | 0,00 |
| 15 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,99 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,99 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,98 | 0,00 |
| 16 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 9,80 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 9,80 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,98 | 0,00 |
| 17 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 9,18 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 9,18 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,98 | 0,00 |
| 18 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 8,01 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 8,01 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,98 | 0,00 |
| 19 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,73 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,73 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,97 | 0,00 |
| 20 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,16 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,16 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,98 | 0,00 |
| 21 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 9,2 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 9,2 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 22 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,51 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,51 |
| Variante 3 | 99,91 | 99,91 | 0,00 |
| 23 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 7,34 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 7,34 |
| Variante 3 | 99,94 | 99,94 | 0,00 |
| 24 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 4,41 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 4,41 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 25 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 4,82 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 4,82 |
| Variante 3 | 99,996 | 99,996 | 0,00 |
| 26 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 4,94 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 4,94 |
| Variante 3 | 99,96 | 99,96 | 0,00 |
| 27 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 8,90 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 8,90 |
| Variante 3 | 99,94 | 99,04 | 0,00 |
| 28 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,46 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,46 |
| Variante 3 | 99,997 | 99,997 | 0,00 |
| 29 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 4,21 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 4,21 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,97 | 0,00 |
| 30 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,43 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,43 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |

Tabela 12 - Normalização de Resultados: instância 4x20 capacidade igual

| **Instância** | **Variante** | **Amplitude %** | **Desvio Padrão %** | **Esforço %** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,93 | 0,00 |
| 3 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,96 | 0,00 |
| 4 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,94 | 0,00 |
| 5 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 6 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,88 | 0,00 |
| 7 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 9 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 50,00 | 42,53 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,96 | 0,00 |
| 10 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 11 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 12 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,95 | 99,91 | 0,00 |
| 13 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,95 | 0,00 |
| 14 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,96 | 99,90 | 0,00 |
| 15 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 16 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,96 | 0,00 |
| 17 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,96 | 0,00 |
| 18 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,95 | 0,00 |
| 19 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 20 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 21 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 22 | Variante 1 | 0,00 | 00,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,94 | 99,94 | 0,00 |
| 23 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,97 | 99,93 | 0,00 |
| 24 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 25 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,97 | 0,00 |
| 26 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 27 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,98 | 99,97 | 0,00 |
| 28 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 99,96 | 99,95 | 0,00 |
| 29 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| 30 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variante 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |

Tabela 13 - Normalização de Resultados: instância 4x20 capacidade diferente

| **Instância** | **Variante** | **Amplitude %** | **Desvio Padrão %** | **Esforço %** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,57 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,57 |
| Variante 3 | 99,995 | 99,99 | 0,00 |
| 2 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 7,40 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 7,40 |
| Variante 3 | 99,997 | 99,996 | 0,00 |
| 3 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,61 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,61 |
| Variante 3 | 99,995 | 99,99 | 0,00 |
| 4 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,67 |
| Variante 2 | 15,63 | 8,33 | 8,99 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,95 | 0,00 |
| 5 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 4,88 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 4,88 |
| Variante 3 | 99,994 | 99,99 | 0,00 |
| 6 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 9,77 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 9,77 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 7 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 10,49 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 10,49 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,98 | 0,00 |
| 8 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 7,20 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 7,20 |
| Variante 3 | 99,995 | 99,99 | 0,00 |
| 9 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 8,50 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 8,50 |
| Variante 3 | 99,995 | 99,99 | 0,00 |
| 10 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 7,64 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 7,64 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 11 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 7,84 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 7,84 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 12 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 0,014 |
| Variante 2 | 21,05 | 20,00 | 2,64 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 13 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 8,21 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 8,21 |
| Variante 3 | 99,997 | 99,996 | 0,00 |
| 14 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 9,18 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 9,18 |
| Variante 3 | 99,995 | 99,99 | 0,00 |
| 15 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 7,84 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 7,84 |
| Variante 3 | 99,995 | 99,99 | 0,00 |
| 16 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 8,29 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 8,29 |
| Variante 3 | 99,996 | 99,99 | 0,00 |
| 17 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 9,38 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 9,38 |
| Variante 3 | 99,996 | 99,99 | 0,00 |
| 18 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,83 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,83 |
| Variante 3 | 99,996 | 99,996 | 0,00 |
| 19 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 5,15 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 5,15 |
| Variante 3 | 99,997 | 99,995 | 0,00 |
| 20 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 7,09 |
| Variante 2 | 12,28 | 0,00 | 6,98 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,98 | 0,00 |
| 21 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 4,54 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 4,54 |
| Variante 3 | 99,996 | 99,99 | 0,00 |
| 22 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 10,23 |
| Variante 2 | 0,00 | 11,11 | 8,24 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 23 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,48 |
| Variante 2 | 39,47 | 28,57 | 6,69 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 24 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,94 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,94 |
| Variante 3 | 99,995 | 99,999 | 0,00 |
| 25 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,89 |
| Variante 2 | 48,57 | 50,00 | 7,10 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 26 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,57 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,57 |
| Variante 3 | 99,997 | 99,99 | 0,00 |
| 27 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 8,08 |
| Variante 2 | 17,65 | 8,33 | 7,71 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 28 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 9,53 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 9,53 |
| Variante 3 | 99,996 | 99,99 | 0,00 |
| 29 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 6,53 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 6,53 |
| Variante 3 | 99,99 | 99,99 | 0,00 |
| 30 | Variante 1 | 0,00 | 0,00 | 3,54 |
| Variante 2 | 0,00 | 0,00 | 3,54 |
| Variante 3 | 99,996 | 99,99 | 0,00 |

## **Apêndice 2 – Manual de Utilização**

Para utilizar o protótipo da ferramenta, é necessário ter as seguintes aplicações:

* Excel;
* Python – Linguagem de programação na qual o protótipo da ferramenta está implementada.

Caso o utilizador não tenha instalado o Python no seu computador, pode utilizar o seguinte link: <https://www.python.org/downloads/>

Na página principal, deve utilizar este botão:

Main page of Python website


De seguida, procede à instalação.

Depois, utilizando o seguinte link “https://github.com/El-Banderas/bolsa\_meu”, clique nos seguintes botões (primeiro o de cima, e depois o de baixo):

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Com este passo, a nossa ferramenta será instalada, contendo o código do programa e o Excel que serve de input aos dados. Para o utilizar, deve “deszippar” o conteúdo que fez *download* e abrir a pasta principal “bolsa\_meu”, e a pasta “input”. Dentro desta pasta, encontra três ficheiros, e deve abrir o de Excel.

No Excel, encontra várias páginas, onde pode alterar as informações de forma a obter um modelo mais aproximado ao desejado. Para um uso correto da ferramenta, só deve alterar as células cujo fundo é verde, e encontram-se numa das três folhas: “Projeto” (relativas aos dados sobre os projetos), “Preferências” e “Anos de Serviço” (estas duas contêm informações sobre os técnicos). Após ter todas as informações alteradas, pode voltar à página “Compatibilidade”, onde encontra um botão em cima, que diz: “Correr modelo”.

Antes de utilizar este botão, deve alterar o conteúdo da célula S3 com a localização da pasta da ferramenta no seu computador. Para obter esta informação, deve abrir o Explorador de ficheiros, navegar até à localização da ferramenta, e copiar o endereço da pasta, clicando duas vezes na parte superior, conforme aponta a seta em baixo:

A screenshot of a computer

Description automatically generated

O formato da localização deve começar com “C:”, e acabar em “bolsa\_meu”.

Com isto pronto, prima o botão, e um terminal será aberto, onde aparecerão algumas linhas. Quando deixarem de aparecer informações, pode consultar o resultado das atribuições, no Excel que se encontra na pasta de output. Conforme altera os dados, e clica no botão, o Excel que se encontra na pasta de output é alterado.