

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

EVANDRO SESTREM

**ABORDAGEM INTELIGENTE PARA O USO RACIONAL DE UM
RECURSO COMPARTILHADO UTILIZANDO BLOCKCHAIN**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2021

EVANDRO SESTREM

**ABORDAGEM INTELIGENTE PARA O USO RACIONAL DE UM
RECURSO COMPARTILHADO UTILIZANDO BLOCKCHAIN**

**Intelligent approach for the rational use of a shared resource using
blockchain**

Dissertação apresentado(a) como requisito para obtenção do título(grau) de Mestre em Computação Aplicada, do , da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Wehrmeister

Coorientador: Dr. Alecio Pedro Delazari Binotto

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es).

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



EVANDRO SESTREM

**ABORDAGEM INTELIGENTE PARA O USO RACIONAL DE UM RECURSO COMPARTILHADO
UTILIZANDO BLOCKCHAIN**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Computação Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia De Sistemas Computacionais.

Data de aprovação: 05 de Novembro de 2021

Prof Marco Aurelio Wehrmeister, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Ana Cristina Barreiras Kochem Vendramin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Gabrielito Rauter Menezes, Doutorado - Universidade Federal de Pelotas (Ufpel)

Prof.a Myriam Regattieri De Biase Da Silva Delgado, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 15/02/2022.

Dedico este trabalho à minha amada esposa
Nayara e ao meu amado filho Sérgio José.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as dádivas e oportunidades que recebo diariamente.

À minha família, pelo carinho, incentivo e total apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marco Aurélio Wehrmeister, que muito me honra com a sua amizade de longa data, por toda sua orientação, incentivo e auxílio durante o meu Mestrado.

Ao meu coorientador Dr. Alecio Binotto, por sua valorosa contribuição e por ter aceitado me auxiliar neste trabalho.

À todos os professores da UTFPR que tive a felicidade de conhecer e com os quais muito aprendi.

I know I was born and I know that I'll die.

The in between is mine.

(Eddie Vedder)

RESUMO

SESTREM, Evandro. **ABORDAGEM INTELIGENTE PARA O USO RACIONAL DE UM RECURSO COMPARTILHADO UTILIZANDO BLOCKCHAIN**. 2021. 231 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

Para resolver o problema da “tragédia dos comuns”, este trabalho apresenta uma abordagem inteligente para o gerenciamento e controle da utilização de um recurso compartilhado por uma comunidade e, ao mesmo tempo, fomentar a realização de ações positivas que podem ser feitas em troca da utilização destes recursos. Para isso, são estudadas diversas metaheurísticas e é escolhida para utilização a TLBO (Teaching–Learning Based Optimization) em conjunto com os conceitos de economia “arquitetura das escolhas” para priorizar a escolha de determinadas ações positivas. A abordagem faz uso do blockchain para manter os dados descentralizados. É apresentada a implementação da abordagem em uma aplicação de uso. Também é apresentado um simulador desenvolvido para realizar experimentos em diferentes cenários, mostrando que a abordagem apresentada é genérica e pode ser utilizada em diferentes aplicações. São apresentados os resultados encontrados ao executar 8 cenários no simulador, sendo que em cada cenário foram aplicados 6 tipos de roletas para reproduzir o comportamento de uma comunidade. Pode-se verificar como é possível efetuar a priorização das ações selecionadas pelos integrantes de uma comunidade onde a abordagem for aplicada.

Palavras-chave: recurso compartilhado. blockchain. meta-heurística. priorização. arquitetura das escolhas.

ABSTRACT

SESTREM, Evandro. **Intelligent approach for the rational use of a shared resource using blockchain**. 2021. 231 p. Dissertation (Master's Degree in Applied Computing) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

To solve the problem of the “tragedy of the commons”, this work presents an intelligent approach to managing and controlling the use of a resource shared by a community and, at the same time, encouraging the realization of positive actions that can be done in exchange for the use of these resources. For this, several metaheuristics are studied and the TLBO (Teaching–Learning Based Optimization) is chosen to be used in conjunction with the concepts of economics “architecture of choices” to prioritize the choice of certain positive actions. Our approach makes use of blockchain to keep data decentralized. The implementation of the approach in a real application is presented. A simulator developed to carry out experiments in different scenarios is also presented, showing that the presented approach is generic and can be used in different applications. The results found when running 8 scenarios in the simulator are presented, and in each scenario 6 types of roulettes were applied to reproduce the behavior of a community. It can be seen how it is possible to prioritize the actions selected by the members of a community where the approach is applied.

Keywords: shared resource. blockchain. metaheuristics. prioritization. architecture of choices.

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 – Algoritmo PSO.	31
Algoritmo 2 – Algoritmo DE	34
Algoritmo 3 – Algoritmo TLBO: Fase Aluno	37
Algoritmo 4 – Algoritmo TLBO	38

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – População urbana e rural mundial (1950 a 2050)	20
Figura 2 – Processo genérico de uma metaheurística	29
Figura 3 – Processo do DE	32
Figura 4 – Processo genérico de um algoritmo genético	34
Figura 5 – Técnicas de recombinação	35
Figura 6 – Estrutura de um blockchain	41
Figura 7 – APP MonedaPar	49
Figura 8 – Agentes e comunidade	52
Figura 9 – Trânsito em cidades inteligentes	57
Figura 10 – Cliente acessando serviço web	61
Figura 11 – Processo genérico da abordagem proposta	62
Figura 12 – Diagrama de classes	63
Figura 13 – Cenário no início da simulação	65
Figura 14 – Fluxo da simulação	66
Figura 15 – Agente do recurso compartilhado na porta 5000	67
Figura 16 – 4 agentes de ações positivas	68
Figura 17 – 1ª ação executada: doação de sangue	69
Figura 18 – Agentes notificados que a 1ª ação foi executada	70
Figura 19 – 2ª ação executada: escola	71
Figura 20 – Agentes possuem a transação da 2ª ação executada	72
Figura 21 – Bloco adicionado	73
Figura 22 – Bloco adicionado nos agentes de ações positivas	74
Figura 23 – Processo do simulador	77
Figura 24 – Roletas executadas em cada cenário	82
Figura 25 – Roleta Aleatória: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	83
Figura 26 – Roleta Aleatória: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8	84
Figura 27 – Roleta Aleatória: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	85
Figura 28 – Roleta Quantidade: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	86
Figura 29 – Roleta Quantidade: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8	87
Figura 30 – Roleta Quantidade: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	88
Figura 31 – Roleta Prioridade: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	89
Figura 32 – Roleta Prioridade: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8	90
Figura 33 – Roleta Prioridade: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	91
Figura 34 – Roleta Valor: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	92
Figura 35 – Roleta Valor: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8	93
Figura 36 – Roleta Valor: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	94
Figura 37 – Roleta Custo-Benefício: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	95
Figura 38 – Roleta Custo-Benefício: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8	96
Figura 39 – Roleta Custo-Benefício: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	97
Figura 40 – Roleta Todas Aleatórias: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	98
Figura 41 – Roleta Todas Aleatórias: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8	99
Figura 42 – Roleta Todas Aleatórias: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8	100
Figura 43 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta quantidade	113
Figura 44 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta quantidade	114

Figura 45 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta quantidade	115
Figura 46 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta aleatória	116
Figura 47 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta aleatória	116
Figura 48 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta aleatória	117
Figura 49 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta aleatória	118
Figura 50 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta prioridade	118
Figura 51 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta prioridade	119
Figura 52 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta prioridade	120
Figura 53 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias	120
Figura 54 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias	121
Figura 55 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias	122
Figura 56 – Cenário 1: valores das APs em cada ciclo na roleta valor	123
Figura 57 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor	124
Figura 58 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta Valor	124
Figura 59 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício	125
Figura 60 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício	126
Figura 61 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício	126
Figura 62 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta quantidade	127
Figura 63 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta quantidade	128
Figura 64 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta quantidade	129
Figura 65 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta aleatória	130
Figura 66 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta aleatória	131
Figura 67 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta aleatória	132
Figura 70 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade	132
Figura 68 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade	133
Figura 69 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade	134
Figura 71 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias	134
Figura 72 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias	135
Figura 73 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias	136
Figura 74 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor	137
Figura 75 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor	137
Figura 76 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta Valor	138
Figura 77 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício	139
Figura 78 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício	140
Figura 79 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício	141
Figura 80 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade	143
Figura 81 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade	143
Figura 82 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade	144
Figura 83 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória	145
Figura 84 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória	146
Figura 85 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade	147
Figura 86 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade	148
Figura 87 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade	148
Figura 88 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade	149
Figura 89 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias	150
Figura 90 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias	150
Figura 91 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias	151
Figura 92 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor	152

Figura 93 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor	153
Figura 94 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Valor	154
Figura 95 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício	155
Figura 96 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício	155
Figura 97 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício	156
Figura 98 – Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade	158
Figura 99 – Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade .	158
Figura 100 –Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade	159
Figura 101 –Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória	160
Figura 102 –Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória . .	161
Figura 103 –Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória	162
Figura 104 –Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade	163
Figura 105 –Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade .	163
Figura 106 –Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade	164
Figura 107 –Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias	165
Figura 108 –Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias	166
Figura 109 –Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias	167
Figura 110 –Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor	168
Figura 111 –Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor	168
Figura 112 –Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Valor	169
Figura 113 –Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício	170
Figura 114 –Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício	170
Figura 115 –Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício	171
Figura 116 –Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade	173
Figura 117 –Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade .	174
Figura 118 –Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade	175
Figura 119 –Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória	176
Figura 120 –Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória . .	177
Figura 121 –Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória	178
Figura 122 –Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade	179
Figura 123 –Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade .	180
Figura 124 –Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade	180
Figura 125 –Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias	181
Figura 126 –Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias	182
Figura 127 –Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias	183
Figura 128 –Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor	184
Figura 129 –Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor	184
Figura 130 –Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Valor	185
Figura 131 –Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício	186
Figura 132 –Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício	186
Figura 133 –Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício	187
Figura 134 –Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade	189
Figura 135 –Cenário 6: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade .	190
Figura 136 –Cenário 6: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade	191
Figura 137 –Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória	192
Figura 138 –Cenário 6: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória . .	192
Figura 139 –Cenário 6: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória	193
Figura 140 –Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade	194

Figura 141 –Cenário 6: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade	194
Figura 142 –Cenário 6: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade	195
Figura 143 –Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias	196
Figura 144 –Cenário 6: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias	196
Figura 145 –Cenário 6: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias	197
Figura 146 –Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor	198
Figura 147 –Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade	200
Figura 148 –Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade	201
Figura 149 –Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade	202
Figura 150 –Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória	203
Figura 151 –Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória	204
Figura 152 –Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória	205
Figura 153 –Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade	206
Figura 154 –Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade	207
Figura 155 –Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade	208
Figura 156 –Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias	209
Figura 157 –Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias	210
Figura 158 –Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias	211
Figura 159 –Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor	212
Figura 160 –Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor	213
Figura 161 –Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Valor	214
Figura 162 –Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício	215
Figura 163 –Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício	215
Figura 164 –Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício	216
Figura 165 –Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade	218
Figura 166 –Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade	218
Figura 167 –Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade	219
Figura 168 –Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória	220
Figura 169 –Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória	221
Figura 170 –Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória	222
Figura 171 –Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade	223
Figura 172 –Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade	224
Figura 173 –Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade	225
Figura 174 –Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias	226
Figura 175 –Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias	226
Figura 176 –Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias	227
Figura 177 –Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor	228
Figura 178 –Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor	228
Figura 179 –Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Valor	229
Figura 180 –Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício	230
Figura 181 –Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício	230
Figura 182 –Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício	231

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Configurações adicionais necessárias pelas metaheurísticas	39
Tabela 2 – Tipos de <i>blockchain</i>	42
Tabela 3 – Ações positivas do cenário trânsito em cidades inteligentes	57
Tabela 4 – Ações positivas do cenário manejo florestal	59
Tabela 5 – APIs REST desenvolvidas para comunicação entre os agentes	63
Tabela 6 – Arquivo de configuração YAML para o cenário do blockchain	64
Tabela 7 – Exemplo de cenário com priorização	78
Tabela 8 – Exemplo de cálculo do limite máximo de cada AP	78
Tabela 9 – Cenários dos experimentos	81
Tabela 10 – Roleta Aleatória: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8	84
Tabela 11 – Roleta Quantidade: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8	86
Tabela 12 – Roleta Prioridade: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8	89
Tabela 13 – Roleta Valor: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8	93
Tabela 14 – Cálculo do custo-benefício no 1o ciclo de C1 (roleta Custo-Benefício)	95
Tabela 15 – Roleta Custo-Benefício: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8	96
Tabela 16 – Roleta Todas Aleatórias: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8	98
Tabela 17 – Configuração do cenário 1	112
Tabela 18 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta quantidade	112
Tabela 19 – Cenário 1: (roleta quantidade): qui-quadrado	113
Tabela 20 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo calculados na roleta aleatória	114
Tabela 21 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo calculados na roleta aleatória	117
Tabela 22 – Cenário 1: (roleta prioridade): qui-quadrado	119
Tabela 23 – Cenário 1: (roleta Todas Aleatórias): qui-quadrado	121
Tabela 24 – Cálculo do custo-benefício no ciclo 1 (roleta Custo-Benefício)	123
Tabela 25 – Cenário 1: (roleta Custo-Benefício) qui-quadrado	125
Tabela 26 – Configuração do cenário 2	127
Tabela 27 – Cenário 2: (roleta Quantidade) qui-quadrado	129
Tabela 28 – Cenário 2: (roleta aleatória) qui-quadrado	130
Tabela 29 – Cenário 2: (roleta Prioridade)) qui-quadrado	131
Tabela 30 – Cenário 2: (roleta Todas Aleatórias) qui-quadrado	135
Tabela 31 – Cenário 2: (roleta Valor) qui-quadrado	138
Tabela 32 – Cenário 2: valor do custo/benefício de cada AP em cada ciclo	140
Tabela 33 – Cenário 2: (roleta Custo-Benefício) qui-quadrado	141
Tabela 34 – Cenário 2: (Configuração do cenário 3	142
Tabela 35 – Cenário 3: (roleta Quantidade) qui-quadrado	144
Tabela 36 – Cenário 3: (roleta Aleatória) qui-quadrado	146
Tabela 37 – Cenário 3: (roleta Todas Aleatórias) qui-quadrado	151
Tabela 38 – Configuração do cenário 4	157
Tabela 39 – Cenário 4: (roleta Quantidade) qui-quadrado	159
Tabela 40 – Cenário 4: (roleta Aleatória) qui-quadrado	161
Tabela 41 – Cenário 4: (roleta Prioridade) qui-quadrado	164
Tabela 42 – Cenário 4: (roleta Todas Aleatórias) qui-quadrado	166
Tabela 43 – Cenário 4: (roleta Valor) qui-quadrado	169
Tabela 44 – Configuração do cenário 5	172

Tabela 45 – Cenário 5: (roleta Quantidade) qui-quadrado	174
Tabela 46 – Cenário 5: (roleta Todas Aleatórias) qui-quadrado	182
Tabela 47 – Configuração do cenário 6	188
Tabela 48 – Configuração do cenário 7	199
Tabela 49 – Configuração do cenário 8	217

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	PROBLEMA	22
1.2	OBJETIVOS	23
1.3	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	23
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	MOEDAS SOCIAIS DIGITAIS	25
2.2	METAHEURÍSTICAS	27
2.2.1	Particle Swarm Optimization (PSO)	29
2.2.2	Differential Evolution (DE)	32
2.2.3	Algoritmo Genético (AG)	34
2.2.4	Teaching–learning-based optimization (TLBO)	36
2.2.4.1	Fase do Professor	36
2.2.4.2	Fase do Aluno	36
2.2.4.3	Implementação do TLBO	37
2.2.5	Escolha da Metaheurística	38
2.3	<i>BLOCKCHAIN</i>	39
2.4	MECANISMOS DE CONSENSO NO <i>BLOCKCHAIN</i>	42
2.4.1	Proof of Work	42
2.4.1.1	Algoritmo	43
2.4.2	Proof of Stake	44
2.5	DISCUSSÃO	45
3	TRABALHOS RELACIONADO	46
3.1	BLOCKCHAIN E MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO	46
3.2	MOEDAS SOCIAIS DIGITAIS UTILIZANDO <i>BLOCKCHAIN</i>	46
3.3	DISCUSSÃO	50
4	ABORDAGEM PROPOSTA	51
4.1	DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM	51
4.2	AP (AÇÕES POSITIVAS)	53
4.3	RC (RECURSO COMPARTILHADO)	54
4.4	USO DAS UNIDADES MONETÁRIAS	54
4.5	CICLOS	54
4.6	EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE USO DA ABORDAGEM PROPOSTA	55
4.6.1	Aplicação de uso 1: trânsito em cidades inteligentes	55
4.6.1.1	Contexto	55
4.6.1.2	Proposta	56
4.6.2	Aplicação de uso 2: manejo florestal	58
4.6.2.1	Contexto	58
4.6.2.2	Proposta	58
5	IMPLEMENTAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA E RESULTADOS	60

5.1	IMPLEMENTAÇÃO DOS AGENTES E DO <i>BLOCKCHAIN</i>	60
5.2	SIMULAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO <i>BLOCKCHAIN</i>	63
5.3	INICIALIZAÇÃO	66
5.3.1	Primeira ação positiva executada	68
5.3.2	Segunda ação positiva executada	70
5.3.3	Terceira ação positiva executada	72
5.4	EXPERIMENTOS	75
5.4.1	Simulador	75
5.4.2	Ciclo	77
5.4.3	Priorização	78
5.4.4	Roletas	79
5.4.5	Qui-quadrado	80
5.4.6	Cenários	80
5.4.6.1	Roleta Aleatória	83
5.4.6.2	Roleta Quantidade	85
5.4.6.3	Roleta Prioridade	88
5.4.6.4	Roleta Valor	91
5.4.6.5	Roleta Custo-Benefício	94
5.4.6.6	Roleta Todas Aleatórias	97
5.5	DISCUSSÃO	100
6	CONCLUSÕES	102
	REFERÊNCIAS	105
	GLOSSÁRIO	111
	APÊNDICES	111
	APÊNDICE A – CENÁRIO C1	112
A.1	CENÁRIO C1: ROLETA QUANTIDADE	112
A.2	CENÁRIO C1: ROLETA ALEATÓRIA	114
A.3	CENÁRIO C1: ROLETA PRIORIDADE	116
A.4	CENÁRIO C1: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS	119
A.5	CENÁRIO C1: ROLETA VALOR	122
A.6	CENÁRIO C1: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO	122
	APÊNDICE B – CENÁRIO C2	127
B.1	CENÁRIO C2: ROLETA QUANTIDADE	127
B.2	CENÁRIO C2: ROLETA ALEATÓRIA	128
B.3	CENÁRIO 2: ROLETA PRIORIDADE	130
B.4	CENÁRIO C2: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS	133
B.5	CENÁRIO C2: ROLETA VALOR	136
B.6	CENÁRIO C2: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO	139
	APÊNDICE C – CENÁRIO C3	142
C.1	CENÁRIO C3: ROLETA QUANTIDADE	142
C.2	CENÁRIO C3: ROLETA ALEATÓRIA	145

C.3	CENÁRIO 3: ROLETA PRIORIDADE	147
C.4	CENÁRIO C3: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS	149
C.5	CENÁRIO C3: ROLETA VALOR	152
C.6	CENÁRIO C3: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO	154
	APÊNDICE D – CENÁRIO C4	157
D.1	CENÁRIO C4: ROLETA QUANTIDADE	157
D.2	CENÁRIO C4: ROLETA ALEATÓRIA	159
D.3	CENÁRIO C4: ROLETA PRIORIDADE	162
D.4	CENÁRIO C4: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS	165
D.5	CENÁRIO C4: ROLETA VALOR	167
D.6	CENÁRIO C4: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO	169
	APÊNDICE E – CENÁRIO C5	172
E.1	CENÁRIO C5: ROLETA QUANTIDADE	172
E.2	CENÁRIO C5: ROLETA ALEATÓRIA	175
E.3	CENÁRIO C5: ROLETA PRIORIDADE	178
E.4	CENÁRIO C5: TODAS ALEATÓRIAS	181
E.5	CENÁRIO C5: ROLETA VALOR	183
E.6	CENÁRIO C5: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO	185
	APÊNDICE F – CENÁRIO C6	188
F.1	CENÁRIO C6: ROLETA QUANTIDADE	188
F.2	CENÁRIO C6: ROLETA ALEATÓRIA	191
F.3	CENÁRIO C6: ROLETA PRIORIDADE	193
F.4	CENÁRIO C6: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS	195
F.5	CENÁRIO C6: ROLETA VALOR	197
	APÊNDICE G – CENÁRIO C7	199
G.1	CENÁRIO C7: ROLETA QUANTIDADE	199
G.2	CENÁRIO C7: ROLETA ALEATÓRIA	202
G.3	CENÁRIO C7: ROLETA PRIORIDADE	205
G.4	CENÁRIO C7: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS	208
G.5	CENÁRIO C7: ROLETA VALOR	211
G.6	CENÁRIO C7: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO	214
	APÊNDICE H – CENÁRIO C8	217
H.1	CENÁRIO C8: ROLETA QUANTIDADE	217
H.2	CENÁRIO C8: ROLETA ALEATÓRIA	219
H.3	CENÁRIO C8: ROLETA PRIORIDADE	222
H.4	CENÁRIO C8: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS	225
H.5	CENÁRIO C8: ROLETA VALOR	227
H.6	CENÁRIO C8: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO	229

1 INTRODUÇÃO

Em 1968 o ecologista Garrett Hardin publicou na revista *Science* o artigo “A tragédia dos comuns” (HARDIN, 1968). Este famoso artigo de ciência política, descreve o fracasso que ocorre quando um recurso comum é compartilhado por uma comunidade. Segundo Hardin, quando um grupo de indivíduos compartilha algo, cada indivíduo tende a agir de forma independente e em benefício próprio, contrário aos interesses de toda a comunidade que utiliza o recurso. Neste artigo é apresentado um exemplo de uma pastagem compartilhada por pastores. Por estarem dividindo um recurso compartilhado (pastagem), a tendência é que cada um deles coloque o maior número possível de ovelhas. Isso inevitavelmente resulta na destruição do pasto e na morte dos animais. Outros exemplos são dados por Hardin, como poluição de rios, propaganda sonora e a população mundial consumindo os finitos recursos do planeta. Hardin chama situações desse tipo de “tragédia dos comuns” e conclui que uma solução para evitar estes problemas seria a privatização dos bens comuns.

Em 1990, Elinor Ostrom publica “*Governing the Commons*” (OSTROM, 1990). Neste trabalho, Ostrom revisa o artigo de Hardin, refuta suas ideias e lembra que ele não foi o primeiro a descrever a tragédia dos comuns chegando a citar Aristóteles: “*Todo mundo pensa principalmente em si mesmo, dificilmente no interesse comum*”. Um desafio importante para os cientistas políticos é desenvolver teorias da organização humana com base em avaliações realistas das capacidades e limitações humanas ao lidar com uma variedade de situações que inicialmente compartilham alguns ou todos os aspectos de uma tragédia dos bens comuns.

Ostrom estudou diversos cenários de recursos compartilhados tais como pesca costeira, áreas de pastagem menores, bacias de água subterrânea, sistemas de irrigação e florestas comuns. Quando o recurso é uma estrutura feita pelo homem, como uma ponte, a aproximação do limite de uso da unidade de travessia levará ao congestionamento. Quando é um recurso biológico, como uma região pesqueira ou uma floresta, aproximar-se do limite do uso do recurso não apenas pode produzir efeitos de aglomeração de curto prazo, mas também pode destruir a capacidade do próprio recurso de continuar produzindo unidades de recursos para serem utilizados ou consumidos. Mesmo um recurso físico, como uma ponte, pode ser destruído pelo uso ao exceder os limites máximos permitidos em suas especificações de engenharia. Deve-se determinar os limites de utilização do recurso por cada integrante. As incertezas decorrentes da falta de informação podem ser reduzidas ao longo do tempo, como resultado da combinação de

conhecimento científico e do conhecimento dos integrantes. Porém, a redução desta incerteza é dispendiosa e nunca é totalmente completa. A incerteza decorrente do comportamento estratégico da comunidade permanece mesmo depois que se adquire um conhecimento considerável sobre o próprio sistema de recursos. Ostrom concluiu que como os indivíduos envolvidos obtêm grande parte de seu retorno econômico dos recursos compartilhados, eles estão fortemente motivados a tentar resolver problemas comuns para melhorar sua própria produtividade ao longo do tempo. O seu estudo foi focado em como um grupo de integrantes que estão em uma situação interdependente podem se organizar e se auto-governar para obter benefícios conjuntos contínuos quando todos enfrentam tentações de agir de forma oportunista.

Em 2009, Ostrom foi a primeira mulher a receber o prêmio Nobel em Economia pela sua análise da governança econômica, especialmente dos bens comuns.

Richard Thaler, vencedor do Prêmio Nobel em economia em 2017, descreve em seu livro *Nudge* (THALER; SUNSTEIN, 2009), o conceito da “arquitetura das escolhas”, que é a organização do contexto com o objetivo de influenciar a tomada de decisão das pessoas. Estas intervenções comportamentais (*nudges*) aumentam a probabilidade da pessoa fazer determinada escolha. Em seu livro, Thaler descreve a descoberta feita por uma nutricionista que trabalha em uma cafeteria escolar que poderia influenciar as escolhas das crianças de consumir mais frutas ou guloseimas reposicionando estes produtos para perto do caixa.

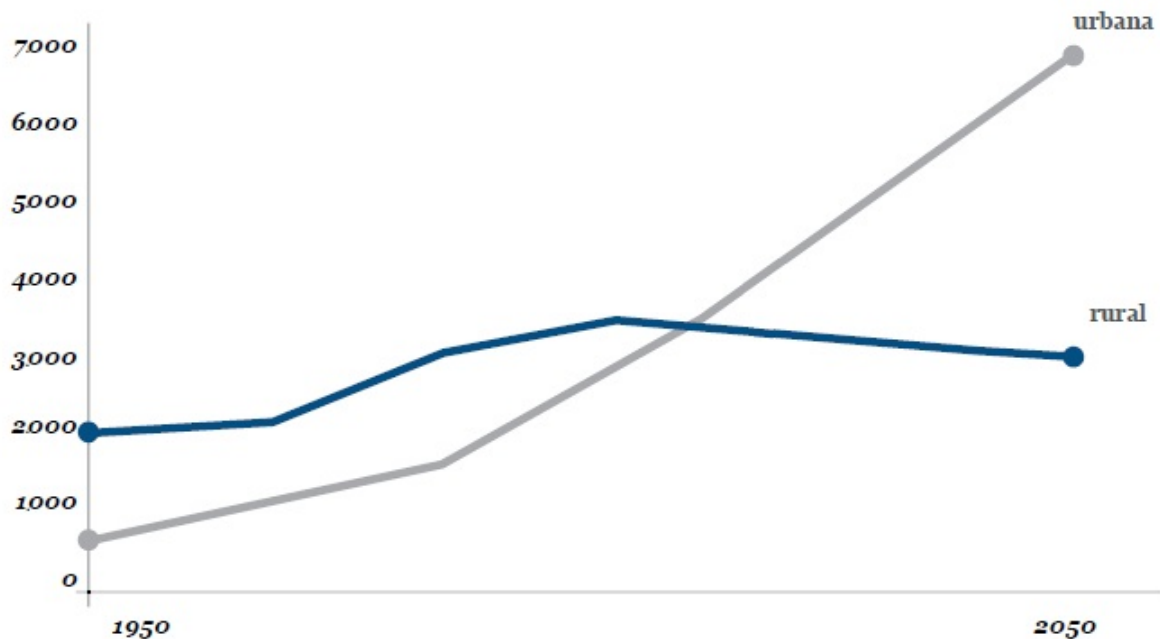
Estratégias de indução de comportamento já são utilizadas há muito tempo por empresas privadas. Sabe-se, por exemplo, que as pessoas possuem um viés cognitivo para escolher a opção “default”, isto é, a que já está pré-definida (HORTA, 2017). Dito de outra forma, as pessoas preferem seguir uma escolha padrão a terem que se esforçar para avaliar refletidamente todas as opções disponíveis. É por esse motivo, por exemplo, que redes de *fast food* têm como padrão perguntar se o cliente quer adicionar mais queijo ou aumentar sua porção de fritas – fazendo o cliente ter que tomar a decisão de recusar – ou que companhias aéreas tentam induzir a venda de “seguros de viagem” em conjunto com a passagem, deixando essa opção pré-definida. Muitos países já utilizam ativamente a arquitetura de escolhas em prol de ideais, tais como uma vida mais saudável para seus cidadãos, reduzir acidentes e incentivar comportamentos ambientalmente corretos. Alemanha, Austrália, Canadá, Cingapura, Coreia do Sul, Dinamarca, Israel, México e Países Baixos já se valeram de elementos da psicologia para a formulação de políticas ambientais, de reforma financeira, de energia, enfrentamento à corrupção e proteção do consumidor. Em 2014, o Gabinete de Políticas de Ciência e Tecnologia dos Estados Unidos instituiu um “Grupo de

Ciências Sociais e Comportamentais” (Social and Behavioral Sciences Team – SBST), formado por especialistas de diferentes órgãos e entidades, para traduzir conhecimentos de ciências comportamentais no processo de formulação de políticas públicas federais americanas (HORTA, 2017).

Nesse contexto, pode-se incluir a administração pública e o gerenciamento de grupos de pessoas e suas atividades diárias. As cidades, como unidade governamental, estão crescendo não só em tamanho, mas também em complexidade. Em 2008, pela primeira vez na história, mais de 50% da população mundial, 3,3 bilhões, viviam em áreas urbanas. A previsão para 2030, é que esse número chegue a 5 bilhões (NAM; PARDO, 2011).

As projeções mostram que o fenômeno se acelera; espera-se que, até 2050, haja uma inversão em relação à proporção de um século antes: um terço do mundo será rural (34%) e dois terços, urbano (64%); aproximadamente a situação oposta àquela existente em meados do século XX. Em 1950, mais de dois terços (70%) da população mundial habitava em áreas rurais, e menos de um terço (30%) em assentamentos urbanos (figura 1) (CUNHA *et al.*, 2016).

Figura 1 – População urbana e rural mundial (1950 a 2050)



Fonte: Nam e Pardo (2011).

Este processo de urbanização tem como consequências vários desafios (WASHBURN *et al.*, 2009):

- escassez de recursos: a migração de mais pessoas para as áreas urbanas, sobrecarrega os já limitados recursos e serviços como energia, saúde, habitação e água. Estes recursos,

além de limitados, muitas vezes não são gerenciados de maneira otimizada. O melhor gerenciamento dos recursos é um componente chave para fazer as cidades mais inteligentes.

- **infraestrutura inadequada e deteriorada:** ao redor do mundo a condição de diversos componentes que compõem a infraestrutura de muitas cidades não é adequada para atender uma população em rápido crescimento. Este item é especialmente impactante, embora não se restrinja, aos países em desenvolvimento. Os Estados Unidos tiveram a sua infraestrutura avaliada como D (sendo A a melhor nota e E a pior) pela Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE, 2017).
- **demanda por melhores oportunidades econômicas e benefícios sociais:** o principal motivo do crescimento das cidades é a busca por melhores oportunidades econômicas e benefícios sociais por pessoas que até então viviam em áreas rurais.

Na tentativa de resolver estes desafios, muitas cidades estão caminhando em direção de se tornar *smart* ou *inteligentes*. Uma cidade é considerada “inteligente” quando ela faz o uso combinado de sistemas de software, infraestrutura de servidor, infraestrutura de rede e dispositivos cliente para conectar melhor componentes críticos de uma cidade: administração da cidade, educação, saúde, segurança pública, transporte e serviços públicos (WASHBURN *et al.*, 2009).

Segundo Cunha *et al.* (2016), não há consenso quanto ao conceito de cidade inteligente ou dos elementos mínimos que devem estar presentes em uma cidade para que seja considerada “inteligente”. Ele elenca 4 elementos que devem estar presentes:

- **Visão global:** a cidade inteligente não se limita a uma aplicação setorial de sua inteligência, pois ela deve estar presente em todos os assuntos da cidade.
- **Um meio para conseguir objetivos:** ser inteligente não é um fim em si mesmo, e sim um meio para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.
- **A tecnologia como fator disruptivo:** a conquista da melhora da qualidade de vida se baseia numa tecnologia que permite recolher grande quantidade de dados, processá-los e compartilhá-los, na forma de informação relevante para gerar valor agregado.
- **Um novo modelo de relações:** a cidade inteligente pode mudar o modelo de relações existentes. Assim, o modelo econômico cede lugar à economia colaborativa; o social cede

lugar às novas formas de participação cidadã; e o municipal cede lugar às políticas urbanas mais ágeis e transparentes.

1.1 PROBLEMA

Ostrom (1990) é mais otimista na sociedade como um todo do que Hardin (1968), mesmo reconhecendo que não é uma tarefa simples incentivar o uso racional de um recurso compartilhado.

Em cenários complexos como as cidades modernas, muitas vezes criam-se regras para limitar a utilização dos recursos compartilhados. Isto pode resolver em parte o problema da utilização do recurso em questão, mas não necessariamente pode ser considerada uma “solução inteligente”. John Nash, ao criar a Teoria dos Jogos, define a “estratégia de equilíbrio”, na qual os interesses deixam de ser conflitantes porque é vantajoso para todos cooperar (KALKO, 2016).

Se generalizarmos o trabalho de Ostrom, pode-se imaginar um cenário em que uma comunidade utiliza os recursos compartilhados e que para compensação deste uso os integrantes da comunidade podem executar outras ações que trazem benefícios a esta comunidade. Estas atitudes devem ser incentivadas visando ao bem comum ao mesmo tempo em que incentivam o uso racional do recurso compartilhado. O controle da utilização do recurso e das ações realizadas deve ser feito de uma forma segura, transparente e descentralizada e que seja de baixo custo de gerenciamento.

A arquitetura de escolhas pode ser utilizada na definição destas ações de forma que seja possível incentivar a escolha de possíveis ações que melhorem o bem comum. Se este princípio for empregado em uma cidade utilizando recursos tecnológicos, como sistemas embarcados e Internet das Coisas, ela pode ser considerada uma “cidade inteligente”.

Considerando que: (a) uma comunidade que compartilha um recurso deseja fazer um bom uso dele no longo prazo; (b) urbanização traz e continuará a trazer desafios para as cidades; uma forma de tentar resolver este desafio é com o envolvimento da comunidade em conjunto com a utilização de tecnologias.

É possível desenvolver uma abordagem para fomentar o uso racional de um recurso compartilhado por uma comunidade e que, concomitantemente, incentive a prática de ações positivas?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma abordagem inteligente para o gerenciamento e controle da utilização de recursos compartilhado por uma comunidade e, ao mesmo tempo, fomentar a realização de ações positivas que podem ser feitas em troca da utilização destes recursos.

Para alcançar o objetivo principal foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar a utilização de metaheurísticas para calcular o valor de uma ação positiva com base na quantidade disponível do recurso compartilhado.
- b) Estudar a tecnologia de *blockchain* e suas características para avaliar se ele atende aos requisitos de segurança e descentralização do modelo proposto;
- c) Implementar e validar o modelo proposto na forma de um software que utiliza *blockchain* para registrar de forma descentralizada as ações realizadas pela comunidade ao longo do tempo.
- d) Avaliar a abordagem proposta através da simulação do consumo de um recurso compartilhado em diferentes cenários variando a quantidade e prioridade das ações positivas.

1.3 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

A abordagem proposta tem como objetivo incentivar o uso racional de um recurso compartilhado, tal como defendido por Ostrom, porém, este trabalho expande esta ideia ao adicionar no modelo o conceito de ações positivas como forma de compensação. Além disso, este trabalho torna-se multidisciplinar ao unir conceitos de diferentes áreas:

- 1) economia (recurso compartilhado e moedas sociais digitais);
- 2) estatística (qui-quadrado);
- 3) inteligência artificial (metaheurísticas);
- 4) sistemas distribuídos (*blockchain*);
- 5) sistemas embarcados (aplicações de uso em cidades inteligentes e Internet das Coisas).

Desta forma, este trabalho objetiva também, ao mesmo tempo que propõe uma abordagem genérica, validar a sua utilização em uma aplicação de uso, demonstrando a sua implementação utilizando um *blockchain*.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos, sendo os seguintes à Introdução organizados desta forma:

Capítulo 2: apresenta os conceitos de moedas sociais digitais, metaheurísticas e *blockchain*. A seção 2.1 descreve as moedas sociais digitais. A seção 2.2 apresenta as metaheurísticas estudadas e qual a escolhida para utilização. A seção 2.3 mostra uma visão geral do *blockchain*. A seção 2.4 apresenta o conceito de mecanismos de consenso e 2 dos algoritmos mais utilizados para este objetivo. Por fim, a seção 2.5 faz uma discussão dos temas abordados neste capítulo.

Capítulo 3: apresenta diversos trabalhos que utilizam métodos de otimização e/ou *blockchains* para a utilização de um recurso compartilhado. A seção 3.1 mostra trabalhos utilizando *blockchain* em conjunto com métodos de otimização. A seção 3.2 descreve moedas sociais digitais utilizando *blockchain*. Por fim, a seção 3.3 faz uma discussão dos trabalhos apresentados.

Capítulo 4: apresenta a proposta de trabalho desta dissertação. A seção 4.1 descreve a abordagem proposta. As seções 4.2, 4.3 e 4.4 fazem o seu detalhamento e as seções 4.5, 4.6 e 4.7 ilustram 2 diferentes aplicações de uso.

Capítulo 5: apresenta a implementação da abordagem realizada. As seções 5.1, 5.2 e 5.3 detalham como o *blockchain* foi desenvolvido, a seção 5.4 mostra os experimentos realizados utilizando a abordagem proposta e a seção 5.5 faz uma discussão destes experimentos.

Capítulo 6: apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta um referencial teórico dos conceitos usados no contexto deste trabalho. O objetivo aqui é fornecer um entendimento para conceitos relevantes abordados neste texto, tais como: o que são as moedas sociais digitais, métodos de otimização, *blockchain* e os seus mecanismos de consenso.

2.1 MOEDAS SOCIAIS DIGITAIS

A realização de transações de varejo custa cerca de 1% do PIB por ano para o país europeu médio. Metade desse custo vem dos bancos comerciais, que têm papel de destaque na liquidação de pagamentos, principalmente agora que o uso de dinheiro em espécie está diminuindo rapidamente em alguns países. Além disso, uma parte significativa dos pagamentos é normalmente executada pela troca de depósitos à vista, instrumentos que são arriscados e, portanto, caros para segurar (CAMERA, 2017).

Moeda identifica um objeto que circula amplamente para facilitar os pagamentos. *Dinheiro eletrônico* é qualquer valor monetário armazenado em um dispositivo eletrônico que pode ser usado para fazer pagamentos. O termo *moeda digital* é usado para se referir a qualquer forma eletrônica de dinheiro que apresenta um livro-contábil distribuído (*distributed ledger*) e um sistema de pagamento descentralizado. *Criptomoedas* são definidas como uma subclasse separada de moedas digitais, podendo ter diferentes mecanismos de consenso (STEVENS *et al.*, 2017).

À primeira vista, uma moeda digital nada mais é do que uma variedade de dinheiro eletrônico, assim como dinheiro depositado em contas bancárias ou em carteiras eletrônicas, como por exemplo *Apple Pay* e *PayPal*. No entanto, sua inovação central em comparação com as formas existentes de dinheiro eletrônico é que pode ser trocada diretamente ponto a ponto, exatamente como o dinheiro físico. A realização de transações em dinheiro é completada pela simples transferência física de, por exemplo, moedas e cédulas. Em contraste, os instrumentos de dinheiro eletrônico não são tangíveis e, portanto, não permitem a transferência física, apenas de forma digital.

As moedas virtuais podem ser definidas como “um tipo de dinheiro digital não regulamentado, que é emitido e geralmente controlado por seus desenvolvedores e usado e aceito entre

os membros de um comunidade virtual específica” ou como “um meio de troca que funciona como uma moeda em alguns ambientes, mas não tem todos os atributos da moeda real” (BANK, 2012).

Um fenômeno conhecido há décadas e observado em diferentes países, são as moedas sociais. Elas são ferramentas para combater a exclusão social e incentivar desenvolvimento local por meio da promoção da inclusão financeira. Existem atualmente mais de 6.000 moedas sociais em uso em todo o mundo e o potencial da tecnologia digital para aumentar este número é enorme (DINIZ *et al.*, 2019).

As moedas sociais, também conhecidas como moedas comunitárias, são moedas alternativas, que permitem a mobilização de recursos locais para as necessidades locais e a construção de comunidades resilientes. Elas permitem que os membros da comunidade realizem transações econômicas, como comprar produtos e pagar por serviços usando uma moeda alternativa como meio de troca. Por décadas, moedas sociais regionais baseadas em papel têm sido usadas em todo o mundo (CHASIN *et al.*, 2020).

Curitiba é uma cidade localizada no Sul do Brasil, capital do estado do Paraná. Devido à mecanização agrícola da década de 1950 à 1980, cidades em todo o Brasil experimentaram um rápido crescimento com a migração de pessoas de áreas rurais para áreas urbanas. Curitiba experimentou alguns dos maiores crescimentos do país com aumento da população atingindo uma estimativa de 5,7% ao ano durante essas décadas. Este aumento descontrolado na população apresentou circunstâncias que exigiam um planejamento urbano eficaz em áreas que variam de serviços sociais, habitação e saneamento, ao meio ambiente e transporte (REHAN; MAHMOUD, 2011). Para enfrentar este problema, Curitiba desenvolveu um programa onde seria possível trocar lixo reciclável por vales de comida, cadernos e vale-transportes. Foi criada, na prática uma moeda social. Muitos moradores utilizaram estes vale-transportes para pegar o ônibus para o Centro e puderam entrar na economia formal (REHAN; MAHMOUD, 2011).

Como resultados deste programa, na década de 1990, a quantidade de papel reciclado foi equivalente a 1200 árvores por dia e fez com que mais de 70 por cento das famílias fizesse a separação de lixo reciclável. Famílias carentes puderam trocar sacos de lixo por passagens de ônibus, comida ou cadernos escolares. Mais de 34.000 famílias em 62 bairros pobres trocaram mais de 11.000 toneladas de lixo por quase um milhão de vale-transporte de ônibus e 1.200 toneladas de alimento. Alunos de mais de 100 escolas trocaram quase 200 toneladas de lixo por 1,9 milhão de cadernos (RABINOVITCH; LEITMAN, 1996).

As moedas sociais, enquanto instrumento socioeconômico, surgem motivadas por cenários de crises na economia global, ao mesmo tempo em que ocorre uma revisão dos papéis das comunidades tradicionais, como sua importância e formas de colaboração. Pode-se atribuir também seu aparecimento ao fato dos sistemas financeiros oficiais vigentes nos países serem incompletos, não atendendo a todas as necessidades da sociedade. Neste contexto, a criação e adoção de moedas sociais podem visar mudanças de comportamento em uma comunidade, ou seja, elas seriam adquiridas através de atitudes ou ações realizadas pelos atores da comunidade, sendo intensamente utilizadas com o objetivo de reforçar comportamentos sustentáveis (RODRIGUES *et al.*, 2018).

Com o advento da era digital, as moedas sociais estão se movendo para o espaço digital. A Moeda Social Digital, do inglês *Digital Community Currency* (MSD) cria oportunidades para enfrentar os desafios que as moedas sociais tradicionais enfrentam, como a inconveniência de lidar com duas moedas em uma carteira e a limitação geográfica para uma população limitada de usuários (CHASIN *et al.*, 2020). A MSD pode ser utilizada para diversas finalidades e, conseqüentemente, diferentes infraestruturas (papel, internet, *blockchain*, entre outras) podem ser adotadas e contribuir para o alcance de seus objetivos ou apoiar a sua circulação e administração. Especificamente, a relevância da infraestrutura digital para a MSD pode ser verificada em questões como governança, *accountability* e transparência, bem como colaborar para resolver alguns problemas, como: segurança de armazenamento, administração, fraude, falsificação e administração da sua circulação (RODRIGUES *et al.*, 2018).

2.2 METAHEURÍSTICAS

Todo processo tem potencial para ser otimizado. Muitas aplicações desafiadoras na ciência e na indústria podem ser formuladas como problemas de otimização. A otimização ocorre na minimização de tempo, custo e risco ou na maximização do lucro, qualidade e eficiência. Um grande número de problemas de otimização da vida real em ciência, engenharia, economia e negócios são complexos e difíceis de resolver. Eles não podem ser resolvidos dentro de um período de tempo razoável. Usar algoritmos aproximados é a principal alternativa para resolver esta classe de problemas.

Algoritmos aproximados podem ainda ser decompostos em duas classes: heurísticas específicas e metaheurísticas. As heurísticas específicas dependem do problema; eles são projetados para um problema específico. As metaheurísticas representam algoritmos aproximados mais

gerais que são aplicáveis a uma grande variedade de problemas de otimização. Eles podem ser ajustados para resolver qualquer problema de otimização. Metaheurísticas resolvem instâncias de problemas que são considerados desafiadores em geral (NP difíceis), explorando o espaço de busca de solução geralmente grande dessas instâncias. Esses algoritmos conseguem isso reduzindo o tamanho efetivo do espaço e explorando esse espaço eficientemente. Metaheurísticas servem a três propósitos principais: resolver problemas mais rapidamente, resolver grandes problemas e obtenção de algoritmos robustos. Metaheurísticas fornecem soluções “aceitáveis”, sem garantir que a solução encontrada seja ótima (TALBI, 2009).

O rápido aumento dos problemas de otimização do mundo real em vários campos da ciência tem levado mais e mais pesquisadores a desenvolver uma grande quantidade de diferentes algoritmos meta-heurísticos, como algoritmos evolutivos (EAs), algoritmos de inteligência de enxame (SIs) e algoritmos meta-heurísticos baseados em fenômenos abiológicos. Algoritmos evolutivos são baseados nos conceitos de Darwin de evolução natural dos seres vivos e sobrevivência dos indivíduos mais aptos na Natureza, e eles compreendem toda uma família de técnicas, como Algoritmo Genético (GA), Programação Evolutiva (EP), Estratégias de Evolução (ES), Programação Genética (GP), Evolução Diferencial (DE) entre outros (ZOU *et al.*, 2019).

Diversas metaheurísticas utilizam como técnica de otimização gerar aleatoriamente uma solução ou um conjunto de soluções (população) e a partir destas soluções avaliar o seu fitness, ou seja, o valor retornado pela função objetivo ao se utilizar a solução proposta para cada variável de decisão. Por exemplo: minimizar os valores da função objetivo $f = x_1^2 + 8x_1x_2 - x_3$. Neste caso, as variáveis de decisão são x_1 , x_2 e x_3 . Uma solução S1 possível tendo os valores 1, 2 e 3, geraria fitness = 14 ($f = 1^2 + 8 * 1 * 2 - 3$). Uma solução S2 possível tendo os valores 3, 2 e 1, geraria fitness = 56 ($f = 3^2 + 8 * 3 * 2 - 1$). Neste caso a solução S1 com fitness de 14 seria melhor que a solução S2 com fitness 56.

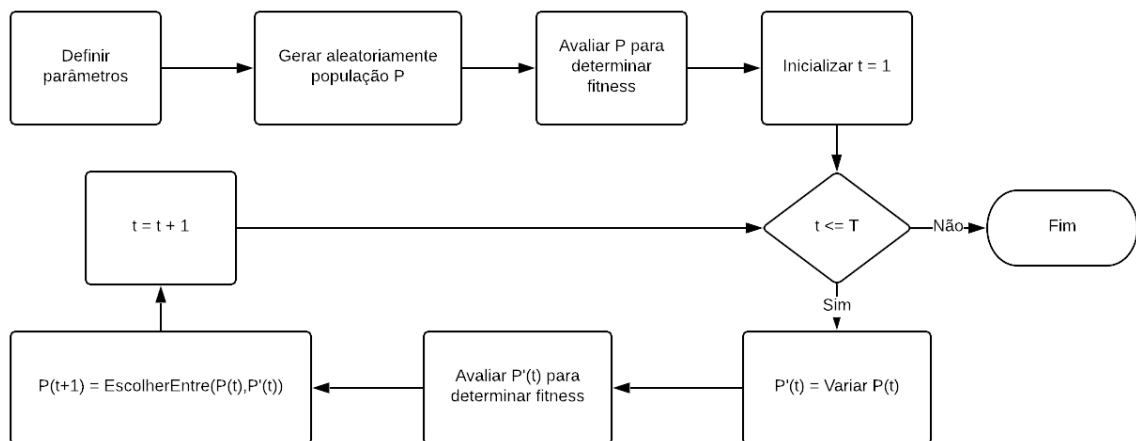
A metaheurística possui: a) uma função objetivo a ser minimizada ou maximizada e b) as variáveis de decisão com seus possíveis limites ou restrições de valores mínimo e máximos. A metaheurística também deve ter o tamanho da população definida, ou seja, quantas soluções ela utiliza para otimizar o problema e a quantidade de iterações (T) que ela irá fazer na população. O processo genérico de uma metaheurística pode ser visto na figura 2.

O processo básico de uma metaheurística é:

- 1) definir os parâmetros de entrada: tamanho da população, quantidade de iterações (T) e possíveis parâmetros específicos da metaheurística.

- 2) gerar aleatoriamente população inicial.
- 3) avaliar o fitness da população inicial.
- 4) inicializar $t = 1$, t é usado para controlar quantas iterações foram realizadas e quando a metaheurística irá para a sua execução ($t = T$).
- 5) executar a metaheurística para gerar uma solução nova (enquanto $t < T$).
- 6) avaliar o fitness da nova solução proposta.
- 7) escolher entre a solução atual e a nova proposta para decidir se a população de soluções deve ser atualizada.
- 8) no final da execução, a melhor solução encontrada é retornada pela metaheurística.

Figura 2 – Processo genérico de uma metaheurística



Fonte: O autor.

No entanto, além de parâmetros básicos como tamanho da população e número de gerações, os algoritmos mencionados anteriormente possuem parâmetros adicionais de configuração. Por exemplo, o GA usa a taxa de mutação e taxa de cruzamento, e DE usa o fator de escala F e a taxa de cruzamento Cr . Esses parâmetros específicos de cada algoritmo precisam ser bem calibrados e são essenciais para o sucesso do algoritmo (ZOU *et al.*, 2019).

2.2.1 Particle Swarm Optimization (PSO)

Esta meta-heurística foi desenvolvida por James Kennedy e Russell Eberhart (um psicólogo social e por um engenheiro eletricista) ao fazerem simulações de comportamentos

sociais simplificados. Uma motivação para a criação deste modelo foi a tentativa de modelar o comportamento social humano, que não é o mesmo de bandos de pássaros ou de cardumes de peixes (KENNEDY; EBERHART, 1995). Esta meta-heurística faz uma analogia considerando cada integrante da população como sendo uma partícula. A cada iteração do algoritmo a posição (valor) da partícula é atualizada. A fórmula que atualiza esta posição é (KENNEDY; EBERHART, 1995):

$$(X_{i+1} = X_i + v_i) \quad (1)$$

Onde:

X_{i+1} : a nova posição da partícula

X_i : posição atual da partícula

v_i : velocidade (deslocamento) da partícula que é atualizada da seguinte forma:

$$v_{i+1} = wv_i + c_1r_1(p_{best,i} - X_i) + c_2r_2(g_{best} - X_i) \quad (2)$$

Onde:

w é a inércia

v_{i+1} é a nova velocidade da partícula.

c_1 e c_2 são coeficientes de aceleração.

r_1 e r_2 são números aleatórios entre 0 e 1.

$p_{best,i}$ é a melhor posição que esta partícula já teve.

g_{best} é a melhor posição entre todas as partículas.

Nesta fórmula, wv_i representa o *momentum*, servindo de memória do deslocamento anterior, evitando que a partícula tenha uma mudança brusca de direção. Na física, *momentum* é o conceito que representa a energia conservada em um sistema. $c_1r_1(p_{best,i} - X_i)$ representa a parte cognitiva, quantificando a performance atual da partícula em relação ao seu melhor valor. Por último, $c_2r_2(g_{best} - X_i)$ representa a parte social, quantificando a performance da partícula em comparação aos seus colegas.

Para a implementação do PSO deve ser definido o problema de otimização, como por exemplo: minimizar $f(x)$, sendo $f(x)$ a função objetivo, X o vetor das variáveis de decisão, e X_i um elemento de X e os parâmetros:

- número de iterações (T);

- tamanho (n) da população (P);
- número de variáveis de decisão (N_p);
- limites inferiores e superiores das variáveis de decisão (lp, up). Todo valor X_i calculado deve respeitar estes limites: $lp_i \leq X_i \leq up_i$;
- constante w que representa a inércia;
- constantes c_1 e c_2 que representam os coeficientes de aceleração.

Passo 1: iniciar a população e a velocidade inicial de cada partícula. Uma população aleatória é gerada de acordo com o tamanho da população e o número de variáveis de decisão. A população é expressa desta forma:

$$P = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,N} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{1,N} \\ \dots & & & \\ x_{Pn,1} & x_{Pn,2} & \dots & x_{Pn,N} \end{bmatrix}$$

Passo 2: avaliar o fitness da população inicial, isto é, calcular o valor de $f(x)$ para cada integrante da população.

Passo 3: calcular a nova posição de cada partícula, utilizando as equações 1 e 2.

Passo 4: atualiza a população e a melhor solução encontrada até então.

O Algoritmo 1 apresenta estes passos.

Algoritmo 1 – Algoritmo PSO.

requer fitness function, lb, ub, Np, T, w c1 e c2

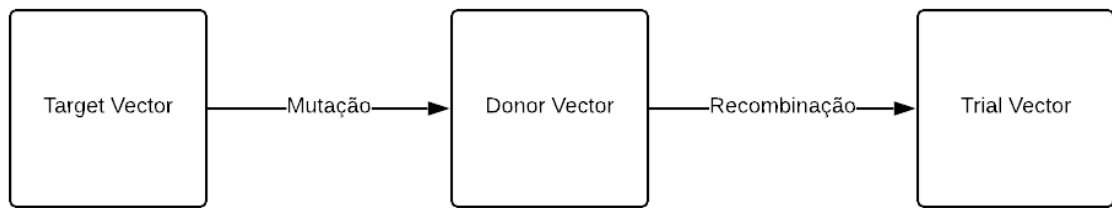
- 1: Iniciar a população aleatória (P) e velocidade (v)
 - 2: Avaliar fitness de P e identificar pbest e gbest
 - 3: **para** $i = 0$ to T **faça**
 - 4: **para** $d = 0$ to N_p **faça**
 - 5: Determinar a velocidade (v_i) da partícula {nova posição}
 - 6: Determinar a nova posição (x_i) da partícula
 - 7: Verificar limites de X_i
 - 8: Calcular fitness da partícula
 - 9: Atualizar a população com nova posição da partícula {memorização}
 - 10: Atualizar, se necessário, pbest e gbest
 - 11: **finaliza para**
 - 12: **finaliza para**
-

Fonte: (KENNEDY; EBERHART, 1995)

2.2.2 Differential Evolution (DE)

Esta meta-heurística foi criada em 1997 e descreve cada solução possível da população como um cromossomo. Cada cromossomo sofre uma mutação e uma recombinação. O cromossomo inicial (chamado de *target vector*), sofre uma mutação gerando o *donor vector*. Este, por sua vez, sofre a recombinação, que gera um *trial vector* (STORN; PRICE, 1997) (ver figura 3).

Figura 3 – Processo do DE



Fonte: O autor.

Para a mutação ocorrer, o *donor vector* (V) de um cromossomo (X_i) é criado desta forma:

$$V = X_{r_1} + F(X_{r_2} - X_{r_3}) \quad (3)$$

onde:

F é uma constante entre 0 e 2.

r_1, r_2, r_3 são os índices de 3 cromossomos escolhidos aleatoriamente.

O *target vector* do cromossomo que está sofrendo a mutação não faz parte deste processo. Como 4 cromossomos são envolvidos em cada mutação (o cromossomo que está sendo mutado mais r_1, r_2 e r_3), conseqüentemente a população deve ser de pelo menos 4 cromossomos.

A recombinação é realizada para aumentar a diversidade. É um processo de escolha se a *trial vector* será criada a partir do valor da *target* ou *donor vector*. u^j receberá v^j quando $r \leq pc$ ou $j = \delta$. u^j receberá x_j quando $r > pc$ e $x_j \neq \delta$. Onde:

pc é a probabilidade de ocorrer o crossover. Este valor deve ser definido entre 0 e 1. Geralmente é escolhido um valor maior que 0.5. Quanto maior, mais chance de ser escolhido o valor de *donor vector*.

δ é um valor aleatoriamente escolhido $\leq D$. Sendo D a quantidade de variáveis de decisão. δ garante que pelo menos uma variável é obtida do *donor vector*.

w^j é a variável do *trial vector*.

v^j é a variável do *donor vector*.

x_j é a variável do *target vector*.

Para a implementação do DE deve-se definir o problema de otimização, como por exemplo: minimizar $f(x)$, onde $X_i \in x_i = 1, 2, \dots, N_p$, sendo $f(x)$ a função objetivo, X o vetor das variáveis de decisão de tal forma que $lp_{,i} \leq X_i \leq up_{,i}$ e os parâmetros:

- número de gerações (T);
- tamanho (n) da população (P);
- número de variáveis de decisão (N_p);
- limites inferiores e superiores das variáveis de decisão (lp, up);
- constante F é utilizada na mutação. Deve ser um valor entre 0 e 2.
- constante p_c é a probabilidade de ocorrer crossover na recombinação.

Passo 1: iniciar a população e a velocidade inicial de cada partícula. Uma população aleatória é gerada de acordo com o tamanho da população e o número de variáveis de decisão. A população é expressada desta forma:

$$P = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,N} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{1,N} \\ \dots & & & \\ x_{Pn,1} & x_{Pn,2} & \dots & x_{Pn,N} \end{bmatrix}$$

Passo 2: avaliar o fitness da população inicial, isto é, calcular o valor de $f(x)$ para cada integrante da população.

Passo 3: executa mutação e recombinação

Passo 4: verifica se o *trial vector* gerado no passo 3 possui fitness melhor do que o da população. Se tiver, a população é atualizada.

Como é apresentado no Algoritmo 2.

Algoritmo 2 – Algoritmo DE

requer fitness function, lb, ub, N_p , T, F, pc
 1: Iniciar a população aleatória (P) {Passo 1}
 2: Avaliar fitness de P {Passo 2}
 3: **para** $x = 0$ to T **faça**
 4: **para** $i = 0$ to N_p **faça**
 5: Criar donor vector utilizando mutação {Passo 3}
 6: Executar recombinação para gerar o trial vector (U_i) {Passo 3}
 7: **finaliza para**
 8: **para** $i = 0$ to N_p **faça**
 9: Verificar limites do trial vector (U_i) {Passo 4}
 10: Atualizar P se fitness de U_i for melhor que o de i {Passo 4}
 11: **finaliza para**
 12: **finaliza para**

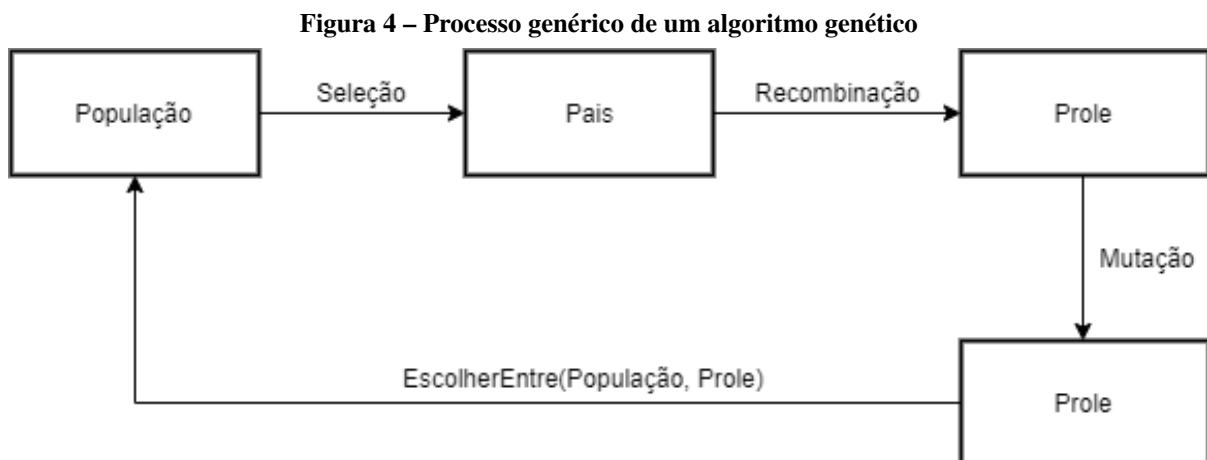
Fonte: (STORN; PRICE, 1997)

2.2.3 Algoritmo Genético (AG)

Os algoritmos genéticos são um tipo de algoritmo de otimização, sendo utilizados para encontrar uma solução para um problema computacional com o objetivo de maximizar ou minimizar uma função. Fazem parte de uma área de estudo chamada de computação evolutiva, que imita o processo biológico de reprodução e seleção natural (CARR, 2014).

O AG foi inspirado na teoria da evolução Darwiniana. Utiliza uma população inicial, onde cada solução corresponde a um cromossomo e cada parâmetro representa um gene. O GA avalia o fitness cada indivíduo na população usando uma função fitness (objetivo) (MIRJALILI, 2019).

O AG possui um processo padrão demonstrado na figura 4.



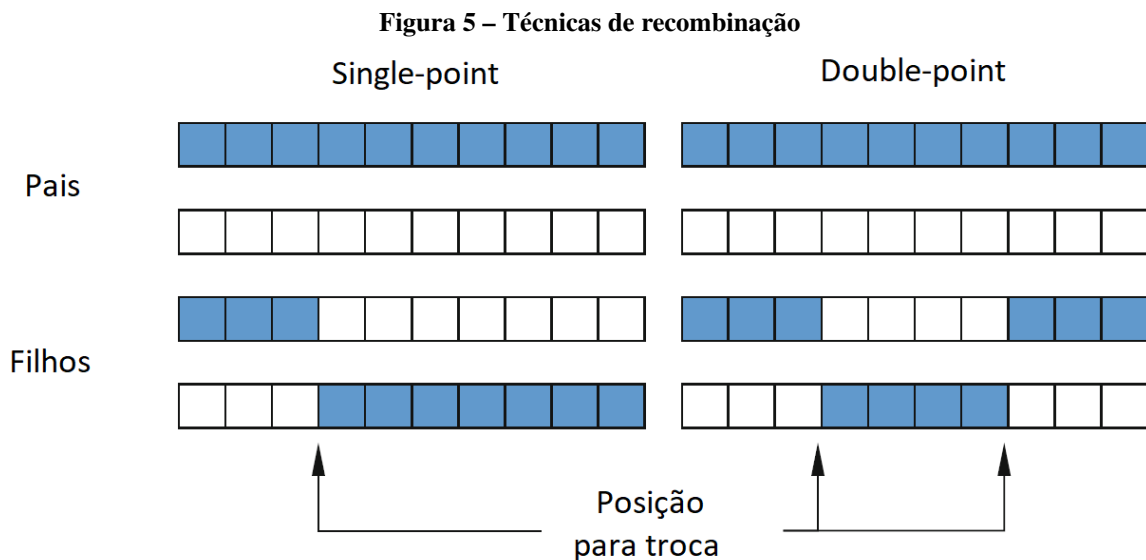
Fonte: adaptado de Carr (2014)

O AG inicia com uma população inicial aleatória. Esta população é composta por diversas soluções que representam os cromossomos. Cada cromossomo é composto por um

conjunto de variáveis de decisão, que representam os genes. O principal objetivo da população inicial é espalhar as soluções em todo o espaço de busca de forma uniforme para aumentar a diversidade da população e ter uma melhor chance de encontrar regiões promissoras.

A seleção natural é a principal inspiração do AG. Na natureza, os indivíduos mais aptos têm uma chance maior de obter comida e acasalar. Isso faz com que seus genes contribuam mais na produção da próxima geração da mesma espécie. Inspirando-se nessa ideia simples, o AG emprega uma espécie de roleta para atribuir probabilidades a indivíduos e selecioná-los para criar a próxima geração proporcional aos seus valores. A roleta é uma forma de seleção possível, porém, na literatura é possível encontrar outras formas de seleção (MIRJALILI, 2019).

Depois de selecionar os indivíduos usando um operador de seleção, eles devem ser utilizados para criar a nova geração. Na natureza, os cromossomos dos genes masculinos e femininos são utilizados para a produção de um novo cromossomo. Isso é simulado combinando dois cromossomos-pais para gerar 2 cromossomos-filhos. Duas técnicas possíveis de recombinação são a *single-point* e *double-point* (figura 5). Na *single-point*, é escolhida aleatoriamente uma posição do cromossomo e os cromossomos-pais são trocados nesta posição para gerar os filhos. Na *double-point*, são selecionadas 2 posições para efetuar a troca (MIRJALILI, 2019).



Fonte: adaptado de Mirjalili (2019)

A última etapa da evolução, é a possibilidade de executar a mutação em alguns genes dos cromossomo-filhos gerados. Uma forma de representar um cromossomo é utilizar a forma binária. Desta forma, a mutação inverteria algum gene do cromossomo de 0 para 1 e vice-versa. A probabilidade de ocorrer mutação deve ser configurada com um valor baixo para evitar que os

cromossomos se tornem muito aleatórios.

2.2.4 Teaching-learning-based optimization (TLBO)

Esta meta-heurística foi criada em 2011 e inspirada na influência de um professor em seus alunos. Como outros algoritmos baseados na natureza, o TLBO também utiliza uma população de possíveis soluções. Esta população é considerada um grupo de alunos. O processo é dividido em 2 partes: a primeira é a “fase do professor” e a segunda é a “fase dos alunos”. A “fase do professor” significa aprender com o professor e a “fase do aluno” significa aprender por meio da interação entre os alunos (RAO *et al.*, 2011).

2.2.4.1 Fase do Professor

O professor é considerado como sendo a pessoa com maior conhecimento e que compartilha o seu conhecimento com os seus alunos. A qualidade do professor influencia diretamente o resultado dos alunos. Um bom professor é aquele que consegue aumentar o nível de conhecimento da sua turma. Na prática, o aumento da média de conhecimento da classe depende da sua capacidade de aprendizado.

Se M_i é a média do conhecimento dos alunos e T_i representa o conhecimento do professor em uma iteração i , o professor tentará mover a M_i próximo ao seu nível gerando a nova média M_{novo} . A solução é atualizada de acordo com a diferença entre a média existente e a nova (equação 4).

$$DiferencaM_i = r(M_{novo} - T_f M_i) \quad (4)$$

onde T_f é um fator de ensino que decide se a média será alterada e r é um número aleatório entre 0 e 1. O valor de T_f pode ser 1 ou 2, que é um passo heurístico e decidido aleatoriamente. Esta diferença modifica a solução existente:

$$(X_{novo,i} = X_{antigo,i} + DiferencaM_i) \quad (5)$$

2.2.4.2 Fase do Aluno

O aluno aumenta o seu conhecimento de 2 formas: através do professor e através da interação com os outros alunos. Um aluno interage com outros alunos através de grupos de

discussão, trabalhos em grupo, apresentações, etc. Um aluno aprende algo novo sempre que um colega compartilha algo que ele não sabia. Este processo é representado no Algoritmo 3.

Algoritmo 3 – Algoritmo TLBO: Fase Aluno

```

1: para  $i = 0$  to  $Pn$  faça
2:   se  $f(X_i) < f(X_j)$  então
3:      $X_{novo,I} = X_{antigo,i} + r(X_i - X_j)$ 
4:   senão,
5:      $X_{novo,I} = X_{antigo,i} + r(X_j - X_i)$ 
6:   finaliza se
7: finaliza para
8: aceitar  $X_{new}$  se tiver um fitness melhor

```

Fonte: (RAO *et al.*, 2011)

2.2.4.3 Implementação do TLBO

O passo a passo para a implementação do TLBO é fornecido nesta seção.

Passo 1: definir o problema de otimização e os parâmetros:

- número de gerações (T);
- tamanho (n) da população (P);
- número de variáveis de decisão (N_p);
- limites inferiores e superiores das variáveis de decisão (lp, up);
- Definir o problema de otimização como: minimizar $f(x)$, onde $X_i \in x_i = 1, 2, \dots, N_p$, sendo $f(x)$ a função objetivo, X o vetor das variáveis de decisão de tal forma que $lp_{,i} \leq X_i \leq up_{,i}$.

Passo 2: iniciar a população. Uma população aleatória é gerada de acordo com o tamanho da população Pn e o número de variáveis de decisão. No TLBO, o tamanho da população indica o número de alunos e as variáveis de decisão a quantidade de assuntos a serem aprendidos. A população é expressada desta forma:

$$P = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,N} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{1,N} \\ \dots & & & \\ x_{Pn,1} & x_{Pn,2} & \dots & x_{Pn,N} \end{bmatrix}$$

Passo 3: avaliar o fitness da população inicial, isto é, calcular o valor de $f(x)$ para cada integrante da população.

Passo 4: Fase professor. A média da população é calculada para cada coluna, desta forma o valor de cada coluna representa a média dos alunos para determinado assunto. $M_{,D} = [m1, m2, \dots, mD]$. A melhor solução terá o papel de professor para cada iteração, ou seja, $X_{teacher} = X_{f(x)=min}$. O professor vai tentar levar a média $M_{,D}$ em direção à $X_{teacher}$. O valor calculado deve se adequar aos limites inferiores e superiores pré-definidos.

Passo 5: Fase aluno. Outro aluno é selecionado aleatoriamente para verificar se ele consegue ensinar algo ao aluno atual.

Algoritmo 4 – Algoritmo TLBO

requer fitness function, lb, ub, Np, T, F {passo 1}
 1: Iniciar a população aleatória (P) {passo 2}
 2: Avaliar fitness de P {passo 3}
 3: **para** $x = 0$ to T **faça**
 4: **para** $i = 0$ to Np **faça**
 5: *Escolher* $X_{teacher}$ {passo 4: fase professor}
 6: *Determinar* X_{mean} {passo 4: professor}
 7: $X_{new} \leftarrow X_i + r(X_{Teacher} - T f X_{mean})$ {passo 4: fase professor}
 8: Verificar limites de X_{new} e calcular fitness de f_{new} {passo 4: fase professor}
 9: Utilizar X_{new} se é melhor que X_i {passo 4: fase professor}
 10: Selecionar aleatoriamente outro aluno X_p {passo 5: fase Aluno}
 11: **se** $f_i < f_p$ **então**
 12: $X_{inew} \leftarrow X_i + r(X_i - X_p)x$ {passo 5: fase Aluno}
 13: **senão,**
 14: $X_{inew} \leftarrow X_i - r(X_i - X_p)x$ {passo 5: fase Aluno}
 15: **finaliza se**
 16: Verificar limites de X_{new} e calcular fitness de f_{new} {passo 5: fase Aluno}
 17: Utilizar X_{new} se é melhor que X_i {passo 5: fase Aluno}
 18: **finaliza para**
 19: **finaliza para**

Fonte: (RAO *et al.*, 2011)

2.2.5 Escolha da Metaheurística

Ao executar quaisquer das metaheurísticas estudadas é necessário definir uma população inicial e o seu tamanho. Além disso, algumas destas metaheurísticas necessitam de configurações adicionais (tabela 1). Normalmente, a calibragem, ou seja, definição do valor inicial de cada configuração é feita via tentativa-e-erro para selecionar a melhor configuração.

O TLBO é, das metaheurísticas apresentadas, a única que não necessita nenhum parâmetro inicial adicional além dos comuns a todas as metaheurísticas. Por isto será a metaheurística utilizada na implementação deste trabalho. Esta escolha foi feita por 2 motivos: (a) não faz parte

Tabela 1 – Configurações adicionais necessárias pelas metaheurísticas

Metaheurística	Configurações adicionais
PSO	w : inércia $c1$ e $c2$: coeficientes de aceleração
DE	F : constante entre 0 e 2 (usado na mutação) pc : probabilidade de crossover
AG	pc : probabilidade de crossover pm : probabilidade de mutação
TLBO	

Fonte: o autor

do escopo deste trabalho a comparação dos resultados obtidos pelas metaheurísticas e (b) evita a possibilidade de resultados diferentes se fosse utilizado uma configuração diferente de valores nos parâmetros adicionais da metaheurística.

2.3 BLOCKCHAIN

A tecnologia conhecida como ‘*blockchain*’, também conhecida como *Distributed Ledger Technology* (DLT) foi revelada pela primeira vez por Satoshi Nakamoto em seu artigo “Bitcoin: um sistema de dinheiro eletrônico peer-to-peer” (NAKAMOTO; BITCOIN, 2008), que estabeleceu as bases matemáticas para a criptomoeda Bitcoin ¹. Embora ele tenha sido um artigo inovador, jamais foi submetido a um periódico tradicional e a verdadeira identidade do seu autor é desconhecida (PIERRO, 2017). Este artigo introduziu dois conceitos inovadores. O primeiro deles é Bitcoin, uma criptomoeda que mantém o seu valor sem suporte de qualquer autoridade centralizada ou entidade financeira. Em vez disso, a moeda é mantida coletivamente e com segurança por uma rede de agentes P2P descentralizada, auditável e verificável. O segundo dos conceitos, cuja popularidade foi ainda mais longe, é o *blockchain* (REYNA *et al.*, 2018).

Muito antes do advento da *blockchain*, o dinheiro digital havia sido conceitualizado em uma configuração com um servidor central confiável para evitar gastos duplos. O *gasto duplo* ocorre quando um usuário consegue gastar a mesma unidade monetária mais de uma vez (REYNA *et al.*, 2018).

Para exemplificar o funcionamento de um *blockchain*, considere que uma comunidade deseja criar uma moeda virtual local (L\$). Inicialmente, todos recebem L\$ 100 e criam uma caderneta onde irão anotar as transações. O objetivo é que todos mantenham o controle e que todas as cadernetas possuam as mesmas informações. Digamos que a pessoa *A* quer pagar L\$ 50 para a pessoa *B*. Desta forma, *A* pede que todos na comunidade adicionem esta transação em suas

¹ <https://bitcoin.org>

cadernetas. Todos verificam que *A* possui saldo e registram esta transação. Após essa transação, o resultado é que agora *A* possui L\$ 50 e *B* passa a ter L\$ 150. Com o tempo esta moeda começa a ficar popular e mais pessoas passam a utilizá-la. Então, ao invés de cada transação ser registrada individualmente, elas são agrupadas em páginas e todos devem concordar em qual página incluir na caderneta (as páginas são os blocos de um *blockchain*) (XU *et al.*, 2019). Um livro-contábil armazena transações e é distribuído entre diversas máquinas onde é permitido apenas adicionar informações. Novas transações podem ser adicionadas, mas transações antigas não podem ser alteradas nem removidas. O *blockchain* mantém um livro-contábil distribuído que é estruturado em uma lista encadeada de blocos. Cada bloco possui um conjunto ordenado de transações (XU *et al.*, 2019).

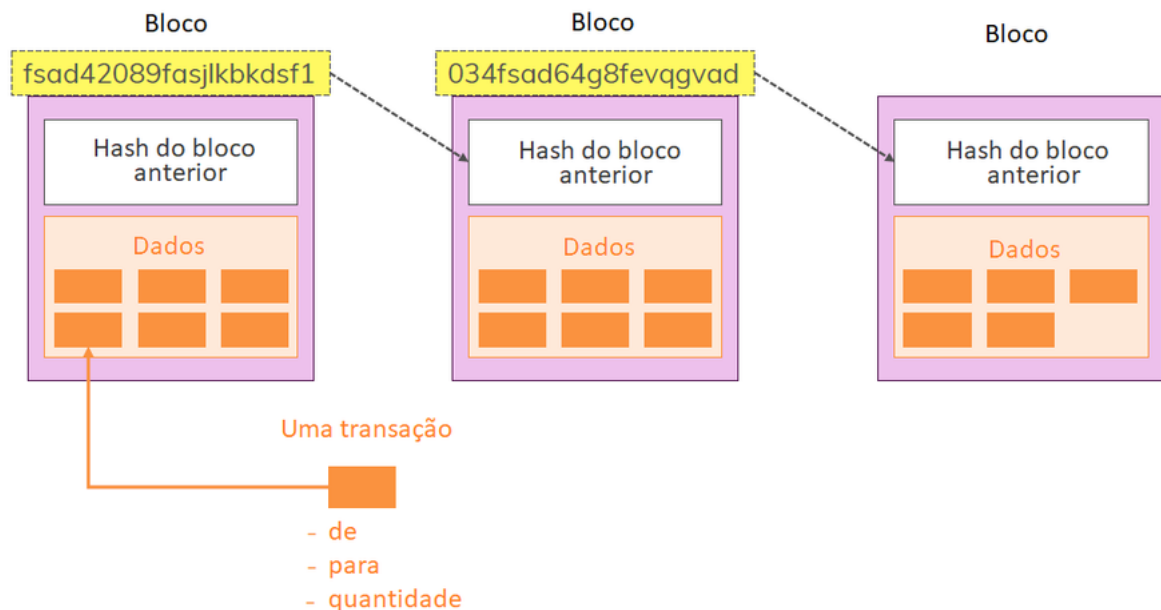
O *blockchain* combina tecnologias e técnicas existentes em um nova arquitetura composta por cinco elementos (FURLONGER; UZUREAU, 2019):

- 1) distribuição: os participantes podem estar fisicamente separados mas devem estar conectados em uma rede. Cada participante possui uma cópia completa (ou parcial dependendo da implementação do *blockchain*) que é atualizada a medida que novas transações ocorrem. Nós são as máquinas dos participantes que executam o algoritmo de consenso.
- 2) criptografia: são utilizadas chaves públicas e chaves privadas para gravar os dados nos blocos com segurança e semi-anonimamente (os participantes têm pseudônimos).
- 3) imutabilidade: blocos adicionados não podem ser alterados.
- 4) tokenização: as transações envolvem a troca segura de valor. O valor é definido em forma de tokens.
- 5) descentralização: o *blockchain* é mantido em vários computadores, ou nós, na rede distribuída. Na prática, isso significa que nenhuma entidade isolada controla todos os computadores ou as informações ou define e controla as regras. Cada nó mantém uma cópia criptografada idêntica do *blockchain*. Um mecanismo de consenso operado por cada nó completo verifica e aprova transações. Esta estrutura orientada por consenso elimina a necessidade de governança por uma autoridade central e atua como à prova de falhas contra fraudes e transações maliciosas.

O termo “*blockchain*” é usado para se referir a uma estrutura de dados e ocasionalmente para uma rede ou sistema. Como estrutura de dados, um *blockchain* é uma lista ordenada de

blocos, em que cada bloco contém uma pequena lista (possivelmente vazia) de transações. Cada bloco em um *blockchain* é ligado ao bloco anterior, contendo um *hash* da representação do anterior (figura 6). Assim, as transações já adicionadas ao *blockchain* não podem ser excluídas nem alteradas sem invalidar a cadeia de hashes. Desta forma, o *blockchain* permite o armazenamento de dados distribuídos em forma de blocos. O primeiro bloco é chamado de Genesis. Se os dados armazenados em um bloco formam uma lista de transações, as unidades monetárias transferidas nas transações formam a criptomoeda. Combinado com restrições computacionais e possíveis incentivos no esquema de criação de blocos, isso pode na prática impedir a adulteração das informações armazenadas no *blockchain* (XU *et al.*, 2019). Como exemplo, cada novo bloco do bitcoin precisa de 10 minutos para ser criado (NAKAMOTO; BITCOIN, 2008), com esta restrição se alguém quiser adulterar um bloco do bitcoin, precisará de 10 minutos para recalcular cada bloco até o final da cadeia.

Figura 6 – Estrutura de um blockchain



Fonte: O autor.

Criptografia de chave pública e assinaturas digitais são normalmente utilizadas para identificar contas e iniciar transações em um *blockchain*. A transação é assinada pelo seu criador e enviada a um nó conectado ao *blockchain* que valida a transação. Se a transação é válida e ainda desconhecida pelo nó, ela será propagada para os outros nós da rede. Então, cada nó também validará a transação e propagará para os outros pares, até que ela alcance todos os nós da rede.

Um *blockchain* é privado quando cada participante precisa ser autorizado para participar

da rede e ter acesso ao blockchain. A forma como esta autorização é feita pode variar bem como a informação dos participantes autorizados também pode ficar dentro ou fora do *blockchain*. Um *blockchain* é público se qualquer participante puder fazer parte da rede e realizar transações, além de participar do processo de criação do consenso. Neste caso, não há registro central nem terceiros confiáveis (GUEGAN, 2017). A tabela 2 resume os tipos de *blockchain* bem como suas características.

Tabela 2 – Tipos de *blockchain*

Blockchain	Não permissionado	Permissionado
Público	Todos os participantes podem ler e escrever no <i>blockchain</i> , sem necessidade de autorização prévia.	Os participantes precisam ser autenticados para ler ou escrever no <i>blockchain</i> .
Privado	Todos os participantes de uma rede privada possuem acesso total ao <i>blockchain</i> .	Os participantes precisam ser autenticados para ter acesso de leitura e escrita. Apenas alguns participantes conseguem escrever enquanto todos podem ter acesso de leitura. Todos devem ser autenticados.

Fonte: (GUEGAN, 2017)

2.4 MECANISMOS DE CONSENSO NO *BLOCKCHAIN*

Em um sistema centralizado tradicional, como um banco, há um computador central que faz o controle das transações realizadas. O banco obviamente confia em seu próprio computador e, portanto, não tem problema em ser o responsável pela segurança e integridade das transações. Porém, quando vários participantes estão compartilhando o registro das transações realizadas (*blockchain*), é necessário estabelecer regras que irão garantir a segurança e fornecer integridade ao *blockchain* para evitar *gasto duplo* e outros ataques de *hackers* em potencial. Essas regras e acordos são chamados de mecanismo de consenso.

Os mecanismos de consenso para *blockchain* mais populares são: *Proof of Work* (PoW) e *Proof of Stake* (PoS)(CAO *et al.*, 2019). Além destes, existem vários outros que não serão descritos por estarem além do escopo deste trabalho, tais como: *Proof of Elapsed Time* (PoET), *Proof of Authority* (PoA), *proof of burn*, *proof of capacity* e *proof of activity* (ELROM, 2019).

2.4.1 Proof of Work

O PoW é o mais popular mecanismo de consenso e foi o primeiro a ser criado. O seu conceito foi criado em 1998 por Wei Dai, então engenheiro da Microsoft (DAI, 1998). É

utilizado pelas criptomoedas mais populares atualmente: Bitcoin e Ethereum². Um minerador é um participante que valida as transações de um novo bloco. O PoW é atingido quando o minerador resolve um desafio matemático e recebe uma recompensa por isso. Este desafio é definido pelo desenvolvedor do *blockchain*. Um *blockchain* pode possuir vários mineradores competindo para resolver o desafio e adicionar um novo bloco no *blockchain*. A recompensa é dada apenas ao primeiro minerador que chegar à solução.

Em um cenário em que estamos validando que o bloco #2 possui o mesmo *hash* do bloco #1, alguém poderia alterar o bloco #1 (manipular alguma das suas transações) e então atualizar o bloco subsequente (bloco #2) com o *hash* atualizado.

Este problema é resolvido pelo PoW. Apenas ter os mesmos hashes não é mais suficiente. Cada bloco possui um número PoW, também chamado de “Nonce”. Ele é apenas um número, mas que concatenado aos dados do bloco gera um *hash* que atende uma condição pré-definida. Um requisito típico é que o *hash* comece com X 0s, embora possa ser definido qualquer condição pelo criador do *blockchain*. Quanto mais 0s forem exigidos, mais tempo levará para encontrar um número PoW adequado.

Este *hash* não é o *hash* que é armazenado no bloco subsequente, mas é o utilizado para comparação entre os blocos.

2.4.1.1 Algoritmo

O algoritmo utilizado pelo PoW consiste dos seguintes passos (BLOCKCHAIN, 2018):

- 1) O último bloco adicionado no *blockchain* é retornado.
- 2) As transações em aberto são colocadas em um novo bloco proposto a ser adicionado ao *blockchain*.
- 3) É computado o *hash* da concatenação das transações em aberto, do *hash* do bloco anterior e do *nonce*.
- 4) Se o *hash* resultante atender o pré-requisito, este bloco é enviado aos demais participantes.
- 5) Se o *hash* resultante não atender o pré-requisito, o *nonce* é incrementado e o processo é repetido a partir do passo 3.

² <http://www.ethereum.org>

Apesar do PoW ser amplamente utilizado, existem algumas desvantagens (RIBERA, 2018):

- 34% de ataque: pesquisas mostraram que se um grupo possuir 34% do poder de mineração, seria capaz de modificar o *blockchain*.
- Aumento da complexidade: a complexidade da mineração aumenta com o tempo. Apesar de parecer um ponto forte, isto faz com que apenas alguns integrantes tenham poder computacional para executar a mineração, o que vai de encontro à ideia de descentralização do *blockchain*.
- Desperdício de energia: conforme aumenta a complexidade da mineração de um bloco, mais poder computacional e conseqüentemente mais energia é utilizada. Isto é hoje em dia o principal problema a ser resolvido em *blockchains*.

A utilização do PoW pode se tornar inviável a longo prazo devido ao desperdício computacional e a lentidão na velocidade de novas transações ao *blockchain*. O consumo estimado anual de energia elétrica do Bitcoin é equivalente ao da Suíça (ELROM, 2019).

2.4.2 Proof of Stake

No PoS, um minerador deve possuir unidades monetárias do *blockchain*. O princípio básico deste algoritmo é que quanto mais unidades monetárias um integrante do *blockchain* possui, maior será sua probabilidade de adicionar blocos. Para cada novo bloco, um minerador é selecionado através de um sorteio, onde a chance de um participante ser sorteado é proporcional a sua quantidade de unidades. Desta forma, o esforço para escolher o minerador é muito menor à do PoW (RIBERA, 2018).

O PoS foi criado em 2012 como uma alternativa aos problemas gerados pelo uso do PoW. Os proponentes do PoS fazem uma analogia interessante argumentando que um integrante possuir unidades monetárias do *blockchain* já é uma forma de “prova de trabalho” realizado anteriormente e por isso pode substituir o PoW propriamente dito (KING; SCOTT NADAL, 2012). O PoS, tal qual o PoW, possui o risco de ocorrer um monopólio de poucos integrantes com muitas unidades monetárias. Por outro lado, comparado ao PoW, tem como vantagens a economia de energia e a criação rápida de novos blocos: sem a necessidade de cálculos de inúmeros hashes para encontrar um correto, é possível adicionar blocos de forma bem mais

rápida comparado ao PoW. Segundo Ribera (2018), a criação de um novo bloco no Bitcoin leva 10 minutos.

2.5 DISCUSSÃO

A necessidade de utilizar um recurso compartilhado por diferentes integrantes de uma comunidade existe há milhares de anos desde a fundação das primeiras cidades. Porém, o aumento populacional exige que estes recursos sejam utilizados de uma forma mais racional e otimizada, do contrário o recurso pode ser exaurido antes do esperado. Além disso, as ações positivas que podem ser realizadas por seus integrantes deveriam ser incentivadas visando ao bem comum. Este é um objetivo que nem sempre é simples de ser alcançado quando o controle desta utilização precisa ser feito de forma centralizada por falta de opções. Outro desafio que se impõe é a valoração da utilização do recurso compartilhado bem como cada ação positiva. As características de um DLT o candidatam a ser uma opção viável para fazer o controle da utilização de um recurso compartilhado bem como das ações positivas executadas de modo descentralizado. Uma metaheurística é uma solução possível para o desafio de valoração.

Este trabalho tem como objetivo ser multidisciplinar, unindo DLT e uma metaheurística para a implementação de uma moeda social digital e, desta forma, criar uma abordagem inteligente que pode ser utilizada em diferentes cenários onde uma comunidade precisa compartilhar um recurso, de forma especial em uma cidade inteligente.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta trabalhos que utilizando *blockchain* em conjunto com métodos de otimização e aplicações de *blockchain* com moedas sociais digitais.

3.1 BLOCKCHAIN E MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO

Huang *et al.* (2019) propõem um algoritmo de agendamento baseado no modelo de otimização multi-objetivo visando a maximização da satisfação do motorista e a minimização dos custos, utilizando métricas como localização dos pontos de recarga e tempo de espera para reabastecimento. Foi utilizada uma versão do algoritmo genético NSGA II alterado para contemplar também as restrições de planejamento de rota dos veículos. O modelo proposto utiliza *blockchains* para controlar as recargas realizadas. A solução apresentada é específica para o controle de recarga de carros elétricos não podendo ser utilizada em outros cenários.

Willrich *et al.* (2020) abordam o manejo florestal, que pode ser entendido como um recurso compartilhado, com necessidades conflitantes entre as partes interessadas. É citado o MCDA (*Multi-Criteria Decision Analysis*), que pesquisa problemas de decisão com múltiplos objetivos, como possível ferramenta para tratar estes conflitos. O artigo define como pMCDA estas diferentes necessidades, tais como: extração de madeira, recreação, abastecimento de água, como advindos da participação pública no manejo florestal. Este pMCDA não deve ser confundido com o “probabilistic MCDA”, que também é encontrado na literatura. São descritos os requisitos para a criação de um modelo de uso do recurso, mas ele não é implementado. É descrita a possibilidade do uso de DLT para o gerenciamento deste modelo, mas sem maiores detalhes. Além disso, é enfatizado que o uso de DLT em conjunto com pMACD ainda não foi empregado no manejo florestal.

3.2 MOEDAS SOCIAIS DIGITAIS UTILIZANDO *BLOCKCHAIN*

Silva *et al.* (2019) propõem, mas não implementam, um sistema de reputação para avaliar a qualidade das informações disseminadas por cidadãos atuando como sensores em uma cidade inteligente. Esta proposta usa a reputação como uma moeda para premiar os cidadãos que compartilham informações verdadeiras e punir as informações falsas. Usaria-se um *blockchain*

com permissão, gerenciado por um conjunto de entidades confiáveis que têm o poder de decidir sobre a veracidade de uma mensagem fornecida por um cidadão. Não ficou definido como os cidadãos obtêm sua quantidade inicial de “moedas” de reputação nem como a questão da privacidade será tratada.

Paiva Sobrinho *et al.* (2019) propõem a adoção de esquemas de *Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)*. O seu objetivo é incentivar as pessoas a adotarem ações direcionadas para resolver problemas específicos em troca de incentivos econômicos. Este artigo cita como limitação deste esquema o fato dos PSAs existentes serem baseados na moeda oficial de um país e, conseqüentemente, podem ser interrompidos na ocorrência de crises econômicas. É sugerida a criação de um PSA apoiado no uso de moedas complementares utilizando *blockchain* e apontado que ainda são poucas as experiências com o delineamento de moedas complementares para solucionar problemas socio-ecológicos. Então é proposta a criação da criptomoeda “Aqua” com o objetivo de incentivar que pessoas habitantes de áreas rurais e urbanas realizem ações que contribuam para o alcance de objetivos acordados pelos participantes do sistema. Exemplos de tais objetivos podem ser a recuperação de Área de Proteção Permanente (APP) em áreas rurais, reciclagem de resíduos sólidos em áreas urbanas, redução do consumo de água e energia elétrica em determinados períodos. Porém, não é definido como as unidades monetárias seriam calculadas nem como o DLT seria implementado.

O site positiveblockchain.io possui uma base de dados com atualmente mais de 850 projetos utilizando *blockchain* para impacto social e ambiental. Destes, 60 projetos são de inclusão financeira e 8 projetos, além de inclusão financeira, também são aplicados em cidades inteligentes. Dentre estes, destacamos:

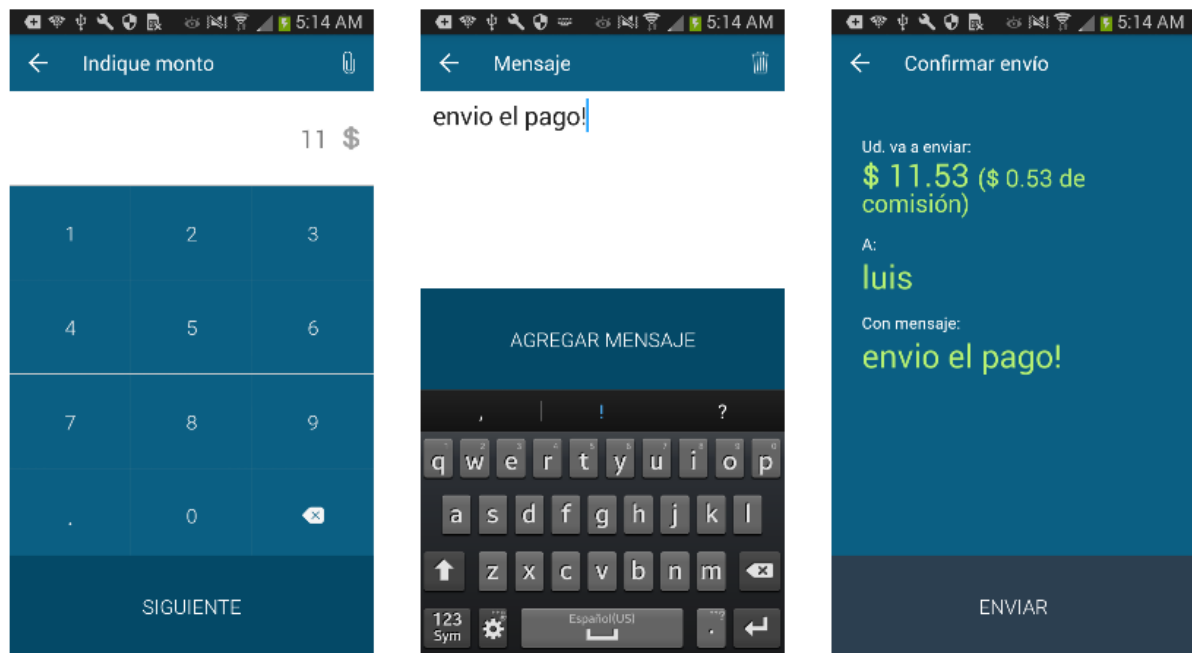
- 1) City Chain: *blockchain* utilizado em Liberstad na Noruega para registros de propriedades e veículos, dentre outros serviços. A sua criptomoeda é a *City Coin*, utilizada como meio de troca e pagamento por serviços (CHAIN, 2020).
- 2) Arcade City: plataforma de *blockchain* que descentraliza a economia de compartilhamento corporativo, utilizada no compartilhamento de viagens. Foi criado em 2016 na cidade de Austin nos EUA, quando o Uber temporariamente deixou de atender esta cidade (STOCKER; STEPHENS, 2019).
- 3) OLI Systems: start-up alemã sediada em Stuttgart que desenvolve um *blockchain* para controlar e comercializar energia autogerada por residências e empresas (OLI, 2020).

- 4) Elblox: *blockchain* utilizado em 6 países da Europa para o mercado de energia limpa (ELBLOX, 2020).
- 5) CivicLedger: a empresa australiana CivicLedger criou para a cidade de Melbourne na Austrália um *blockchain* para que os cidadãos reservem vagas de estacionamento (CIVICLEDGER, 2020).
- 6) Fairbike: *blockchain* para o compartilhamento de bicicletas desenvolvido em Rotterdam, nos Países Baixos (FAIRBIKE, 2020).
- 7) SmartCityCoin: *blockchain* composto por um conjunto de sensores de consumo de energia para compartilhamento de informações de consumo. Este compartilhamento de informações irá gerar crédito que poderá ser trocado por produtos ou serviços credenciados (SMARTCITYCOIN, 2020).

As MSDs possuem o potencial de mudar a forma como as economias são imaginadas junto com o *blockchain* que permite a criação de sistemas descentralizados sem o controle de uma entidade central. Seria possível até criar uma rede de MSDs em *blockchain* que fossem escaladas globalmente e elas executassem transações de transferência entre si (KALMI *et al.*, 2018). A Moneda Par e a SolarCoin são exemplos de duas MSDs em uso utilizando *blockchain*.

A Moneda Par é uma MSD com foco socioeconômico lançada na Argentina em maio de 2017. Funciona como um sistema de crédito mútuo para troca de bens, serviços e conhecimento. O objetivo final da Moneda Par é a criação de um sistema monetário complementar que promova a autonomia e resiliência da comunidade, melhorando a economia de todos os atores cujo acesso ao crédito é restringido pelo sistema bancário tradicional. É gerada em quantidade de acordo com o que é definido pelos participantes da rede; todavia, é trocada por produtos ou serviços prestados pelos usuários, podendo ser empresas, lojas ou *prosumers* (atores que podem se alternar como produtores e consumidores de bens e serviços em uma rede ou comunidade). O Moneda Par é acessado através de um aplicativo de *smartphone* (Figura 7).

Figura 7 – APP MonedaPar



Fonte: (MONEDAPAR, 2020)

As pessoas ou empresas entram na rede adquirindo unidades monetárias ou oferecendo produtos ou serviços. É criado um crédito mútuo, de acordo com os atores e o valor de crédito cedido é acordado pela rede e possui paridade com a moeda oficial Argentina. A sua governança é parcialmente distribuída, pois, tem-se alguma governança pela comunidade. A tecnologia utilizada procura aumentar a transparência, confiança, *accountability* e participação. Atores envolvidos em uma transação possuem autonomia e é permitido ficar com saldo devedor. Há intenção de contribuição para o desenvolvimento socioeconômico do país (RODRIGUES *et al.*, 2018; MONEDAPAR, 2020).

O SolarCoin é um *blockchain* criado em 2014 que tem como objetivo gerar recompensa para produtores de energia solar e atua em 73 países. Cada solarcoin equivale a produção de 1MWh (Megawatt/hora). 97.5 bilhões de solarcoins já foram criados pelos produtores de energia (SOLARCOIN, 2020). A moeda SolarCoin pode ser negociada (trocada) por outras criptomoedas ou utilizada no comércio que a aceita. Ele pode evoluir para ser um certificado de não-emissão de CO e desempenhar um papel relevante no comércio internacional de carbono (POSITIVEBLOCKCHAIN, 2020).

3.3 DISCUSSÃO

Os trabalhos apresentados têm como característica utilizar DLT para resolver alguma necessidade específica (CHAIN, 2020), (STOCKER; STEPHENS, 2019), (OLI, 2020), (CIVIL-LEDGER, 2020), (FAIRBIKE, 2020) ou com MSD, na sua forma mais tradicional, ou seja é criada uma moeda que pode ser comercializada por produtos ou serviços (SOLARCOIN, 2020), (RODRIGUES *et al.*, 2018; MONEDAPAR, 2020), (SMARTCITYCOIN, 2020), (ELBLOX, 2020).

Willrich *et al.* (2020) propõe o uso de DLT para o gerenciamento de um recurso compartilhado específico (manejo florestal), por isso sua proposta não é genérica, diferentemente da nossa proposta de trabalho.

Diferente dos projetos analisados que fazem algum controle de recurso compartilhado com o objetivo de cobrar por este uso, a nossa proposta é arquitetar um DLT onde as unidades monetárias sejam aplicadas para a utilização de um recurso compartilhado; mas para ganhar estas unidades é necessário executar alguma ação positiva definida em conjunto pela comunidade. Este modelo pode ser aplicado em diferentes cenários.

Esta proposta difere dos DLTs e dos MSDs estudados, pois propõe um modelo para a utilização racional de um recurso compartilhado tal como proposto por Ostrom, além de adicionar o conceito de ações positivas como forma de compensação e a arquitetura das escolhas para tentar priorizar a escolha de determinadas ações positivas em detrimento de outras.

4 ABORDAGEM PROPOSTA

Este capítulo apresenta a abordagem proposta para o uso racional de um recurso compartilhado. Em seguida, são apresentadas 2 diferentes aplicações de uso onde esta abordagem poderia ser aplicada.

4.1 DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM

Neste trabalho propõe-se uma abordagem inteligente para o uso racional de um recurso compartilhado. Como abordagem inteligente e uso racional entende-se que a disponibilidade do recurso compartilhado não será exaurida antes do término da execução das ações positivas. Este recurso compartilhado pode ser tanto um bem natural (por exemplo: um rio) quanto algo criado pelo homem (por exemplo: uma ponte). Tem-se como premissas que:

- se o recurso for utilizado racionalmente ele mantém-se renovável, ou seja, uma ponte mantém a sua estrutura da forma esperada e um rio consegue manter e renovar os seus recursos;
- o uso do recurso é quantificável;
- os integrantes da comunidade aceitam executar ações positivas em troca da moeda social para utilizar o recurso.

Além de manter o uso racional do recurso compartilhado, propõe-se que os integrantes da comunidade, que consomem o recurso, executem ações positivas para compensar a comunidade na qual o recurso compartilhado está inserido como forma de ressarcimento pelo uso deste. Desta forma, a proposta cria uma espécie de moeda social, onde se recebem créditos de unidade monetária a cada ação positiva executada, bem como débitos a cada utilização do recurso compartilhado. A abordagem proposta deve calcular o valor monetário para a utilização de cada item do recurso compartilhado, bem como o valor monetário de cada ação positiva executada.

As ações positivas são definidas pela comunidade, bem como qual é o número total de vezes que cada ação pode ser realizada. A abordagem deve contemplar a possibilidade de se definir a prioridade de uma ação positiva perante as demais, fazendo com que seja mais vantajoso a execução de determinada ação positiva. Desta forma, é aplicada a *arquitetura das escolhas*.

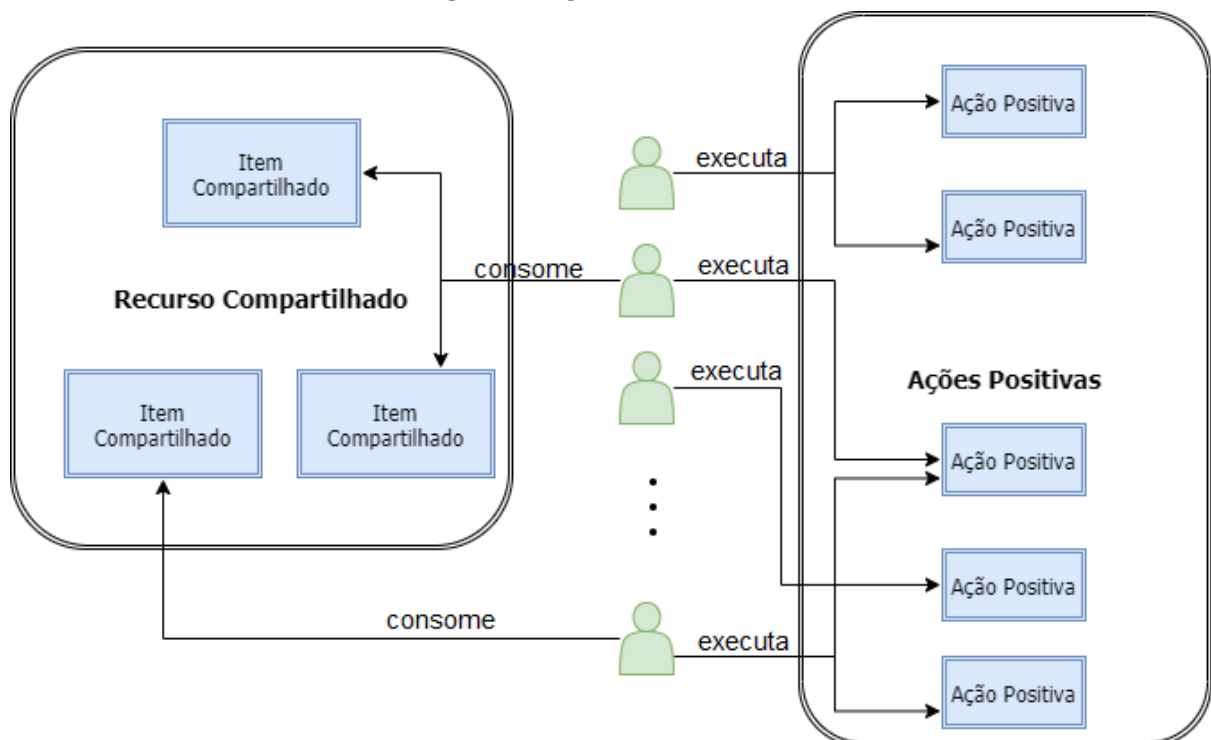
Este trabalho também contempla o desenvolvimento de um *blockchain* que utilize a abordagem proposta e faça a sua implementação utilizando uma aplicação de uso. Foi escolhido o *blockchain* para ser utilizado na implementação da abordagem pelas suas características de ser:

- imutável: uma vez que o recurso for utilizado ou uma ação positiva for executada, esta informação não pode mais ser alterada.
- descentralizado: as informações estarão disponíveis para cada elemento que participa do sistema (recurso compartilhado e cada ação positiva).

Conforme o recurso compartilhado for sendo utilizado e as ações positivas forem sendo executadas, deve existir a possibilidade de efetuar o recálculo dos valores monetários, caso a comunidade deseje alterar alguma prioridade.

O cenário onde o modelo está inserido é composto por agentes e pela comunidade. Os agentes representam um recurso compartilhado e as ações positivas que podem ser executadas. Na figura 8, os agentes estão representados em azul, cada um destes itens com acesso ao *blockchain*, e os participantes da comunidade estão representados em verde. Estes não terão acesso ao *blockchain* (na verdade, nem sabem da sua existência), mas consumirão o recurso compartilhado e executarão ações positivas, sendo estas atividades registradas no *blockchain*.

Figura 8 – Agentes e comunidade



Assim, diferente de um *blockchain* tradicional de MSD que registra sempre o mesmo tipo de transação monetária (transferência de recurso), o *blockchain* proposto neste trabalho deve registrar a utilização de um recurso compartilhado (débito) e a execução de uma ação positiva (crédito) de cada integrante da comunidade, conseguindo desta forma informar o saldo de cada integrante, bem como dos recursos compartilhados utilizados e das ações positivas realizadas.

4.2 AP (AÇÕES POSITIVAS)

Uma ação positiva (AP) é uma atividade que um integrante da comunidade pode executar para receber créditos da moeda social e desta forma poder consumir o recurso compartilhado. Para cada cenário (aplicação da abordagem em um caso específico), deve-se definir as ações positivas que poderão ser executadas. O valor de uma ação positiva será calculado pela metaheurística. Este valor é calculado no início de um ciclo (seção 4.5). Como visto na seção 2.2, toda metaheurística é composta por variáveis de decisão com seus possíveis limites ou restrições de valores mínimo e máximos. Cada AP é uma variável de decisão e o valor máximo que a AP pode ter é definido pela sua prioridade.

O somatório das APs que compõem um cenário deve ser 100. Na metaheurística, o limite inferior do valor de uma AP é 1. O seu valor máximo é modelado desta forma:

$$\text{ValorMáximo}_{AP_i} = (\text{RC} (\text{Prioridade}_{AP_i} \div 100)) \div \text{qtde}_{AP_i} \quad (6)$$

Sendo:

AP_i : cada uma das APs possíveis;

RC : quantidade de vezes que o recurso compartilhado pode ser utilizado (seção 4.3);

$Prioridade_{AP_i}$: prioridade percentual da AP_i (arquitetura das escolhas);

$qtde_{AP_i}$: quantidade de vezes que a AP_i pode ser executada pelos integrantes da comunidade.

$$\sum \text{Prioridade}_{AP_i} = 100$$

Ao se definir a prioridade de uma ação positiva ($Prioridade_{AP_i}$) perante as demais APs, utiliza-se o arcabouço conceitual da *arquitetura das escolhas*, que é a organização do contexto com o objetivo de influenciar a tomada de decisão. Desta forma, está sendo incentivado que uma AP tenha maior probabilidade de ser escolhida pelos integrantes, pois o retorno recebido ao executar esta ação será maior quando comparado a outras APs.

4.3 RC (RECURSO COMPARTILHADO)

Um recurso compartilhado (RC) é a quantidade de vezes que o recurso que está sendo compartilhado pode ser utilizado e representa a quantidade de unidades monetárias que o modelo possui. Esta quantidade deve ser maior ou igual que o total de ações positivas exequíveis (equação 7).

$$RC \geq \sum AP_i \quad (7)$$

O valor calculado de um AP representa quantas unidades monetárias o RC pode ser consumido. Desta forma, se uma AP tiver o valor 10, o integrante da comunidade que executar esta ação poderá consumir o recurso 10 vezes.

4.4 USO DAS UNIDADES MONETÁRIAS

Quando um integrante da comunidade executar uma ação positiva, ele recebe créditos (certa quantidade de unidades monetárias). O agente no qual a ação foi executada irá adicionar no *blockchain* uma transação informando sobre esta ação, desta forma todos os agentes que compõem o cenário ficam cientes desta ação executada. Assim, este integrante já estará apto a consumir algum item de recurso compartilhado.

Não será possível a transferência de unidades monetárias entre os integrantes da comunidade. O recebimento de créditos deve ser feito através de uma entidade responsável por uma ação positiva.

4.5 CICLO

Na execução da abordagem em um cenário, o ciclo é o processo que calcula, utilizando a metaheurística, o valor de cada AP que um integrante da comunidade irá receber ao executar esta ação para consumir o RC. Todo cenário deve possuir ao menos 1 ciclo, que é executado no início. Um cenário pode ter tantos ciclos quanto se achar necessário.

Como visto na seção 2.2, toda metaheurística possui uma função objetivo a ser minimizada ou maximizada.

Na abordagem proposta a função objetivo sempre será minimizada (equação 8), pois pretende-se encontrar o menor valor para cada AP_i , visto que este valor representa a quanti-

dade de vezes que o RC pode ser consumido ao executar a AP_i . Como a função sempre será minimizada, ela é elevada ao quadrado para evitar valores negativos.

$$\min(f(x)) = \left(\sum (qtde_{AP_i} * AP_i) - RC \right)^2 \quad (8)$$

Nos experimentos realizados neste trabalho (seção 5.4.6), os cenários possuem 12 ciclos, para representar a execução de cada cenário em 1 ano e os valores das APs sendo recalculadas quando determinado número de ações for executado (cada ciclo representando 1 mês).

4.6 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE USO DA ABORDAGEM PROPOSTA

Esta seção apresenta 2 exemplos de uso da abordagem proposta com o objetivo de ilustrar a sua aplicação em um ambiente real. Em cada exemplo é descrito o uso no contexto das cidades inteligentes. Em seguida, apresenta-se a aplicação da abordagem proposta neste cenário. O objetivo é mostrar a generalidade da abordagem proposta em diferentes cenários de aplicação.

4.6.1 Aplicação de uso 1: trânsito em cidades inteligentes

4.6.1.1 Contexto

Os congestionamentos são cada vez mais comuns nas cidades, inclusive nas pequenas, causando perda de tempo e dinheiro. O custo estimado do congestionamento no Reino Unido é de 15 bilhões de libras por ano, que representa 1,5% do seu PIB (Produto Interno Bruto). Na França e Alemanha, o custo estimado é de 1,3% e 0,9% do PIB respectivamente. Nos EUA, este custo é estimado em 0,6% do PIB (PALMA; LINDSEY, 2009).

Na tentativa de diminuir os prejuízos diários acarretados pelos congestionamentos, algumas cidades grandes adotaram um sistema de pedágio urbano (*congestion charge*). É cobrada uma taxa por trafegar em uma determinada região em um horário específico. Este modelo já foi adotado em Londres (Inglaterra), Milão (Itália), Estocolmo (Suécia), Singapura e recentemente em Nova Iorque (EUA) (BAGHESTANI *et al.*, 2020; SANTOS, 2005; ELIASSON *et al.*, 2009; PERCOCO, 2014; GREEN *et al.*, 2016).

Apesar dos evidentes e inúmeros prejuízos ocasionados pelo congestionamento, o pedágio urbano é uma medida extremamente impopular e de difícil implantação. Cidades como Edimburgo (Escócia) e Manchester (Inglaterra), já tiveram propostas de implantação, mas foram

barradas por referendo popular. Mesmo Nova Iorque que teve o seu projeto aprovado em 2020, já teve um projeto rejeitado em 2007 (HEPBURN, 2014; GAUNT *et al.*, 2006).

No Brasil, apesar de ainda não ter nenhum pedágio urbano sendo utilizado, a Lei Federal 12.587 de 2012, no artigo 23, incisos I e III já prevê estas medidas:

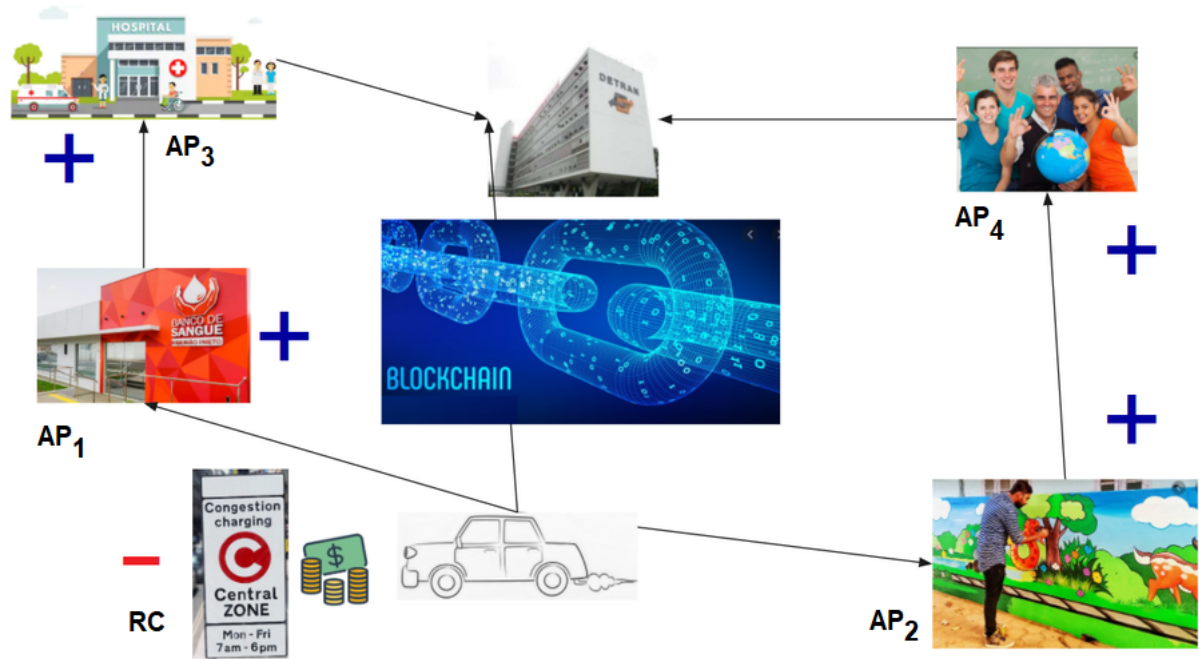
I - restrição e controle de acesso e circulação, permanente ou temporário, de veículos motorizados em locais e horários predeterminados;

III - aplicação de tributos sobre modos e serviços de transporte urbano pela utilização da infraestrutura urbana, visando a desestimular o uso de determinados modos e serviços de mobilidade, vinculando-se a receita à aplicação exclusiva em infraestrutura urbana destinada ao transporte público coletivo e ao transporte não motorizado e no financiamento do subsídio público da tarifa de transporte público, na forma da lei.

4.6.1.2 Proposta

Neste cenário é possível identificar que o recurso compartilhado são as vias de acesso de uma cidade onde o trânsito intenso causa congestionamento. Uma cidade inteligente adota um pedágio urbano através da criação de uma MSD, porém, ao invés da simples cobrança monetária, os motoristas têm a possibilidade de executar ações positivas que serão convertidas em créditos no MSD. A apuração dos créditos poderia ser feita após um período a ser definido (semestral ou anual). A figura 9 é uma representação deste cenário ilustrando a utilização do RC (-) e a execução de APs (+). Para receber créditos do MSD, a cidade inteligente define ações positivas que os motoristas devem realizar.

Figura 9 – Trânsito em cidades inteligentes



Fonte: o autor.

Como exemplo, pode-se imaginar que o fluxo previsto é de 10.000 viagens e o RC possui apenas 1 item a ser compartilhado (as vias de acesso da cidade). Isto significa que, quando foi criado este cenário, definiu-se que o RC pode ser utilizado 10.000 vezes durante a execução deste cenário. Também definiram-se as 4 APs que podem ser executadas pelos motoristas (tabela 3).

A coluna *quantidade* mostra a quantidade máxima de vezes que a AP pode ser executada. A coluna *prioridade* define os valores percentuais, desta forma, o somatório desta coluna deve ser 100%. Esta informação representa a modelagem da *arquitetura das escolhas*, pois busca privilegiar a escolha da AP com maior prioridade.

Tabela 3 – Ações positivas do cenário trânsito em cidades inteligentes

Ação Positiva	Descrição	Quantidade	Prioridade (%)
AP ₁	Doação de sangue	500	35
AP ₂	Trabalho voluntário em escola	20	30
AP ₃	Trabalho voluntário em hospital	70	20
AP ₄	Participação em campanha de recolhimento de doações	60	15

Fonte: o autor.

Os valores máximos que cada AP pode ter (conforme definido na equação 6) são:

$$\text{ValorMáximo}_{AP_1} = (10000 (35 \div 100)) \div 500 = 7$$

$$\text{ValorMáximo}_{AP_2} = (10000 (30 \div 100)) \div 20 = 150$$

$$\text{ValorMáximo}_{AP_3} = (10000 (20 \div 100)) \div 70 = 28$$

$$\text{ValorMáximo}_{AP_4} = (10000 (15 \div 100)) \div 60 = 25$$

A função objetivo da metaheurística (equação 8) é:

$$\min(f(x)) = ((500AP_1) + (20AP_2) + (70AP_3) + (60AP_4) - 10000)^2 \quad (9)$$

Ao iniciar o 1º ciclo, a metaheurística deve calcular os valores de AP_1 , AP_2 , AP_3 e AP_4 tendo como valor mínimo 1 e valores máximos 7, 150, 28 e 25 respectivamente minimizando a função objetivo descrita na equação 9. Desta forma, será definido quanto a execução de cada AP realizada representa em unidades monetárias e, conseqüentemente, quantas unidades do RC podem ser consumidas por ter-se executado esta AP. Se for utilizado mais de 1 ciclo, este cálculo deve ser realizado novamente com os valores atualizados das quantidades disponíveis das AP_{is} e do RC.

4.6.2 Aplicação de uso 2: manejo florestal

4.6.2.1 Contexto

O manejo florestal envolve múltiplos objetivos, múltiplos interessados, complexidades socio-ecológicas e interações políticas. O envolvimento público na tomada de decisões florestais é uma tarefa desafiadora que envolve controvérsias. Várias ferramentas participativas, como fóruns de consulta pública, processos de comentários públicos, pesquisas de opinião são usadas para consultar as comunidades. Todos esses métodos podem fornecer informações úteis, mas não conseguem quantificar sistematicamente quais objetivos devem ser priorizados em detrimento de outros e oferece pouca ajuda para minimizar conflitos (ANANDA; HERATH, 2003).

4.6.2.2 Proposta

Pode-se imaginar que se deseja explorar uma floresta para visitação pública e estima-se até 5.000 visitas em um determinado período. As APs podem ser: (1) investimento em conscientização ecológica em escolas, (2) replantio de áreas degradadas e (3) limpeza de rios (tabela 4). Estes valores devem ser definidos pelo criador e mantenedor da aplicação.

Os valores máximos que cada AP pode ter (conforme definido na equação 6) são:

$$\text{ValorMáximo}_{AP_1} = (5000 (20 \div 100)) \div 30 = 33$$

Tabela 4 – Ações positivas do cenário manejo florestal

Ação Positiva	Descrição	Quantidade	Prioridade(%)
AP ₁	Conscientização nas escolas	30	20
AP ₂	Replântio	15	40
AP ₃	Limpeza de rios	20	40

$$\text{ValorMáximo}_{AP_2} = (5000 (40 \div 100)) \div 15 = 133$$

$$\text{ValorMáximo}_{AP_3} = (5000 (40 \div 100)) \div 20 = 100$$

A função objetivo da metaheurística (equação 8) é:

$$\min(f(x)) = ((30AP_1) + (15AP_2) + (20AP_3) - 5000)^2 \quad (10)$$

Ao iniciar o 1º ciclo, a metaheurística deve calcular os valores de AP_1 , AP_2 e AP_3 tendo como valor mínimo 1 e valores máximos 33, 133, 100 respectivamente minimizando a função objetivo descrita na equação 10. Desta forma, será definido quanto a execução de cada AP realizada representa em unidades monetárias e, conseqüentemente, quantas unidades do RC podem ser consumidos por ter-se executado esta AP. Se for utilizado mais de 1 ciclo, este cálculo deve ser realizado novamente com os valores atualizados das quantidades disponíveis das AP_{is} e do RC.

5 IMPLEMENTAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA E RESULTADOS

Este capítulo apresenta a implementação do blockchain em conjunto com a metaheurística TLBO e a aplicação da abordagem no exemplo de uso *trânsito em cidades inteligentes* (seção 4.6.1). Para a validação da abordagem proposta, foi desenvolvido um simulador de cenários. O seu objetivo é simular o comportamento dos integrantes de uma comunidade na seleção das APs a serem executadas e verificar se houve priorização das ações escolhidas. Neste simulador foram executados 8 cenários diferentes. Os cenários considerados mais relevantes são detalhados neste capítulo. Todos os resultados encontrados nos 8 cenários estão descritos nos Apêndices.

5.1 IMPLEMENTAÇÃO DOS AGENTES E DO *BLOCKCHAIN*

Um serviço web fornece um conjunto de operações, chamadas de APIs (*Application Programming Interface*), que podem ser utilizadas por outros clientes através da Internet utilizando o protocolo HTTP. Ele pode ser implementado para atender requisições no formato SOAP (*Simple Object Access Protocol*) ou REST (*Representational State Transfer*) (COULOURIS *et al.*, 2011). Uma API disponibiliza um conjunto de funções utilizadas para facilitar a integração entre os programas e permitir que troquem informações. O estilo de arquitetura REST para APIs foi descrito em 2000 por Roy Fielding utilizando o protocolo HTTP e é amplamente utilizado para a criação de APIs para serviços web modernos (MASSE, 2011).

O IETF (*Internet Engineering Task Force*) é um grupo que tem como missão propor e padronizar as tecnologias e protocolos relacionados à utilização da Internet e criou o documento RFC 7231 que padroniza a criação de APIs REST.¹

O cenário implementado é uma aplicação WEB composta por agentes que disponibiliza um serviço web RESTful para comunicação entre si. Como descrito na seção 4.1, cada agente representa um recurso compartilhado e as APs. A comunicação entre os agentes é feita por meio de requisições utilizando as APIs disponibilizadas que são executadas pelo cliente como pode ser visto na figura 10. A requisição é composta basicamente da ação desejada (chamada de *method*) e, opcionalmente, dados complementares da requisição. Após a execução da requisição, uma resposta é enviada com um código informando se a requisição foi atendida ou não.

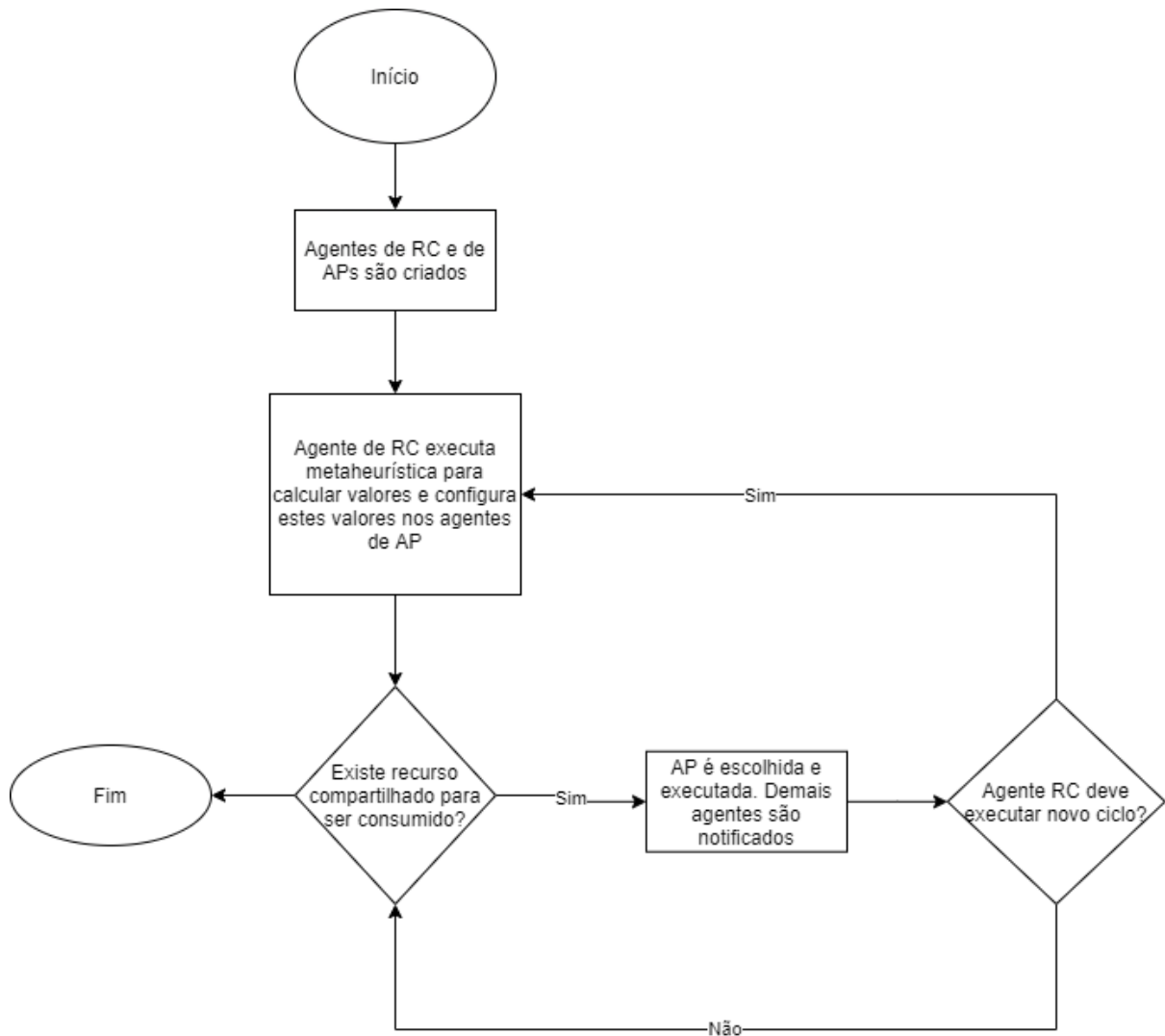
¹ <https://tools.ietf.org/html/rfc7231>

Figura 10 – Cliente acessando serviço web

Fonte: o autor.

O processo da abordagem proposta segue o fluxo da figura 11. Ele inicia criando os agentes responsáveis pelo RC e APs. Logo após, o agente de RC inicia um ciclo executando a metaheurística para calcular o valor de cada AP, e notifica os agentes de APs com o valor de cada AP. Enquanto existir unidades do RC disponíveis para consumo, uma AP pode ser escolhida por um integrante da comunidade e executada. Se necessário, o agente de RC inicia um novo ciclo. Quando não existir mais unidades do RC disponíveis, o processo é finalizado.

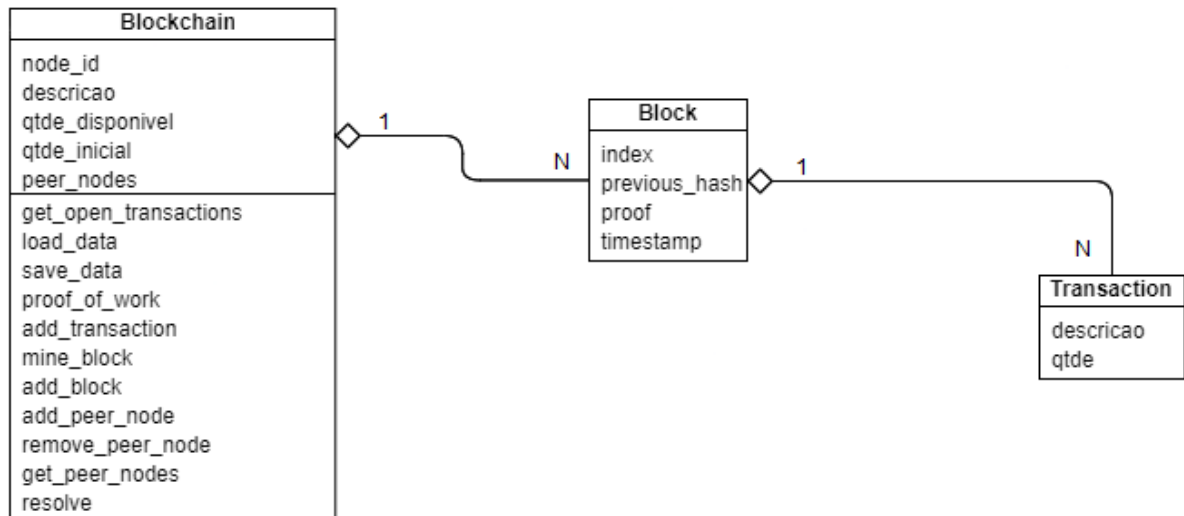
Figura 11 – Processo genérico da abordagem proposta



Fonte: o autor.

Foram implementados 2 tipos de agentes: um para controlar o recurso compartilhado e outro para as ações positivas. Todo agente tem acesso ao *blockchain*. Um *blockchain* (representado pela classe *Blockchain*) é composto por uma lista de blocos (classe *Block*), sendo cada bloco composto por uma lista de transações realizadas (classe *Transaction*), conforme diagrama de classes da figura 12.

Figura 12 – Diagrama de classes



Fonte: o autor.

As APIs REST desenvolvidas para a comunicação entre os agentes estão descritas na tabela 5. Desta forma quando acontece algum evento em um agente, ele notifica os demais que este ocorreu.

Tabela 5 – APIs REST desenvolvidas para comunicação entre os agentes

Method	EndPoint	Descrição
GET	/	Retorna a tela inicial com informações do agente.
POST	/broadcast-transaction	Notifica os demais agentes que uma transação foi criada no blockchain.
POST	/broadcast-block	Notifica os demais agentes que um bloco foi criado no blockchain.
POST	/executar_acao	Executa uma ação positiva em um agente.
GET	/transactions	Retorna todas as transações em aberto do blockchain (ainda não adicionadas em nenhum bloco).
GET	/chain	Retorna os blocos que compõem o blockchain.
POST	/node	Adiciona um novo agente (nó) no blockchain.
GET	/nodes	Retorna os agentes (nós) que compõem o blockchain.
POST	/iniciar_ciclo	Agente do recurso compartilhado calcula o valor de cada ação utilizando TLBO e atualiza os valores de cada ação positiva.
POST	/atualizar_valor	Agente atualiza o valor da sua ação positiva.

Fonte: o autor.

5.2 SIMULAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO *BLOCKCHAIN*

Para utilizar o *blockchain* em diversas aplicações de uso diferentes, como por exemplo os descritos nas seções 4.6.1 e 4.6.2, foi criado um script em Python que inicia o cenário a partir de um arquivo de configuração descrito em YAML². As configurações possíveis e os valores

² <https://yaml.org/>

para a aplicação de uso *trânsito em cidades inteligentes* (seção 4.6.1) estão descritos na tabela 6.

Tabela 6 – Arquivo de configuração YAML para o cenário do blockchain

Variável	Descrição	Valor
tamanho_população	Tamanho da população utilizado pela metaheurística.	15
qtde_iterações	Quantidade de iterações utilizada pela metaheurística	100
qtde_tipo_ações	Quantidade de tipos de ações positivas diferentes possíveis de serem executadas (é a quantidade de variáveis de decisão da metaheurística)	4
qtde_total_recurso	Quantidade disponível para utilização do recurso compartilhado	10000
qtde_ciclos	Quantidade de ciclos	1
tipo_ciclos	Se um novo ciclo deve ser executado quando determinada quantidade de ações for executada ou por recursos consumidos	qtde_ações
descrição_ações	Descrição de cada ação positiva	“Doação de sangue”, “Escola”, “Hospital”, “Pedágio”
qtde_inicial_ações	Quantidade inicial que cada ação positiva possui para ser executada	800 600 400 200
prioridade_ações	Prioridade a ser dada para cada ação positiva	50 30 15 5
custo_ações	Qual o custo ao executar cada ação positiva	1.3 2 5 10

Fonte: o autor.

Nesta simulação o arquivo de configuração define que o recurso compartilhado possui 10.000 unidades a serem consumidas e existem 4 ações positivas possíveis de serem realizadas: “doação de sangue”, “escola”, “hospital” e “pedágio”. A ação “doação de sangue” pode ser executada 800 vezes, possui prioridade 50 e custo 1,3. A ação “escola” pode ser executada 600 vezes, possui prioridade 30 e custo 2. A ação “hospital” pode ser executada 400 vezes, possui prioridade 15 e custo 5. Por último, a ação “pedágio” pode ser executada 200 vezes, possui prioridade 5 e custo 10 (figura 13). O conceito de *custo* que representa quanto custa para um integrante realizar determinada AP foi introduzido pois ele é utilizado na roleta *custo-benefício* (seção 5.4.4).

Quando a simulação inicia, o cenário é criado a partir da configuração do arquivo YAML. Para os valores definidos na tabela 6, 5 agentes são iniciados: 1 agente para gerenciar o recurso compartilhado e 4 agentes para as ações positivas possíveis (“doação de sangue”, “escola”, “hospital” e “pedágio”). O agente de recurso compartilhado inicia um ciclo (API */iniciar_ciclo*), que é o cálculo do valor de cada ação positiva utilizando a metaheurística TLBO, e envia para cada agente participantes o seu respectivo valor (API */atualizar_valor*). Este valor representa quantas unidades do recurso compartilhado podem ser utilizadas quando a ação positiva for realizada. Enquanto existirem recursos é possível escolher uma ação positiva para ser executada. Quando isto ocorrer, o agente da ação positiva que foi executada requisição REST (API */broadcast-transaction*) para os demais agentes. Quando isso ocorre, o *blockchain*

Figura 13 – Cenário no início da simulação

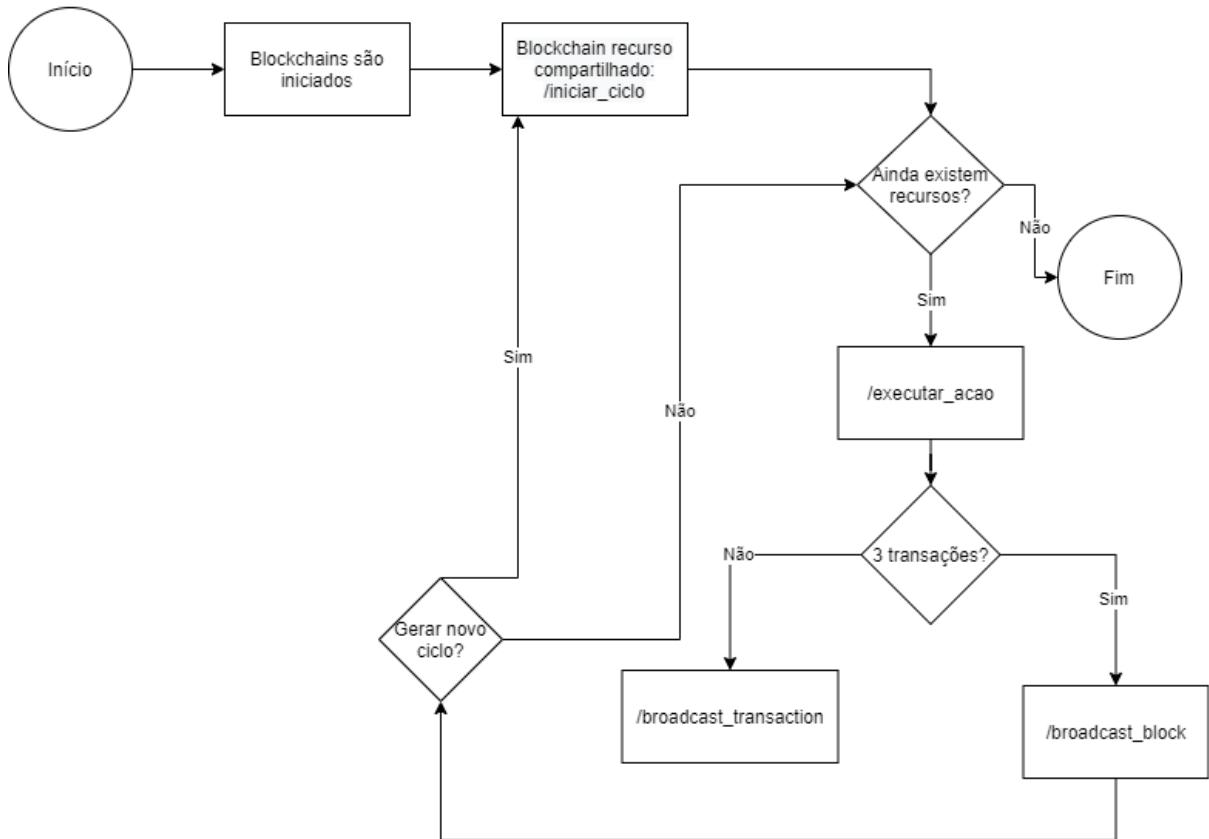


Fonte: o autor.

é atualizado com a informação da AP executada.

Na implementação realizada, o *blockchain* mantém uma lista de transações realizadas, a serem adicionados em um novo bloco. Quando uma ação é executada, é criada uma transação para representá-la e esta ação é adicionada na fila. Quando houverem 3 transações na fila, é criado um novo bloco com estas 3 transações e este bloco enviado aos demais agentes (requisição */broadcast – block*) e a fila é esvaziada. Se a fila possuir menos de 3 transações, é executada a requisição */broadcast – transaction* para notificar os demais agentes da ação recém-executada (figura 14). Quando um novo bloco é adicionado, o agente do recurso compartilhado verifica se um novo ciclo deve ser criado (seção 5.4.2). Isto foi feito para diminuir a necessidade computacional do mecanismo de consenso *Proof of Work* (seção 2.4.1) utilizado na implementação que é executado sempre que um bloco é criado. Isto não é um requisito obrigatório, ou seja, a implementação poderia ser simplificada criando automaticamente um bloco para cada ação executada.

Figura 14 – Fluxo da simulação



Fonte: o autor.

5.3 INICIALIZAÇÃO

Nesta simulação, o agente do recurso compartilhado é executado na porta 5000 com a quantidade disponível configurada em *qtde_total_recurso* igual a 10.000 (figura 15).

Figura 15 – Agente do recurso compartilhado na porta 5000



localhost:5000/#

Agente Recurso Compartilhado Trânsito

Blockchain e transações Nós que compõem a rede

Qtde de ações disponíveis: 10000

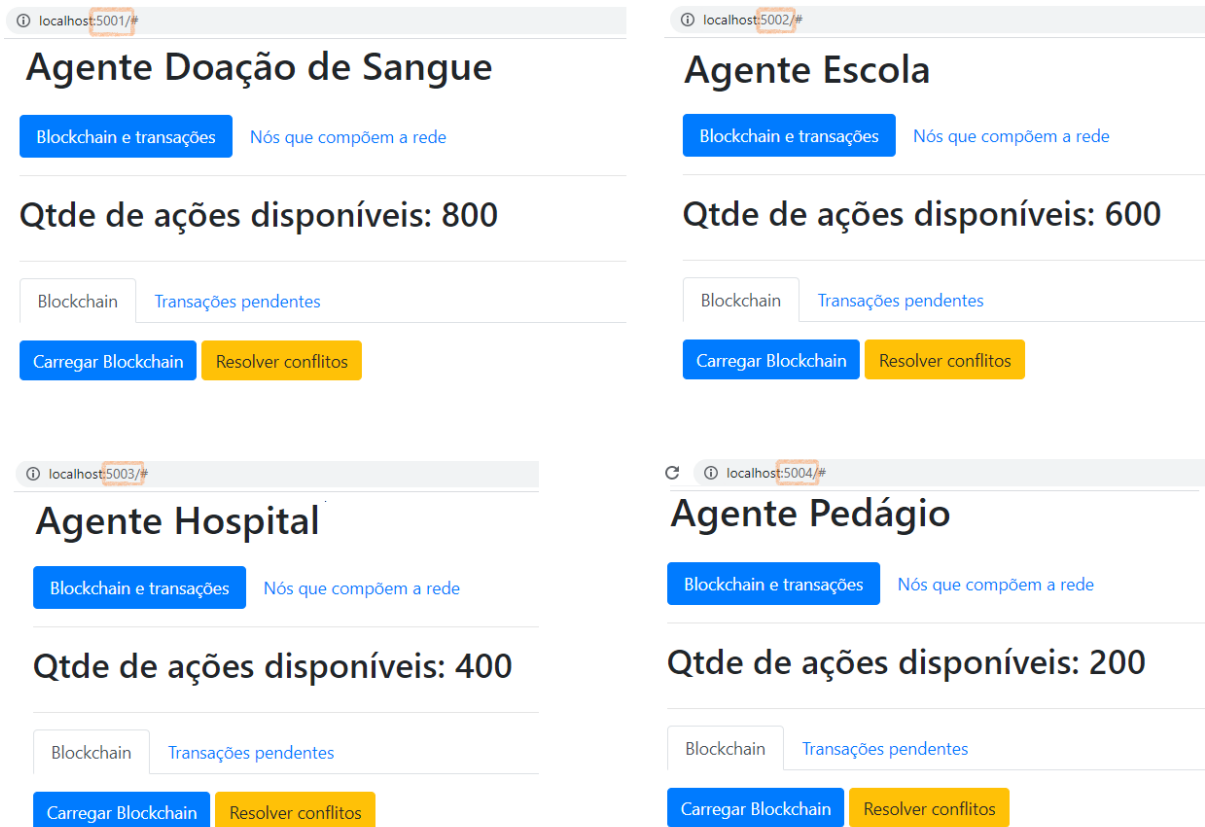
Blockchain Transações pendentes

Carregar Blockchain Resolver conflitos

Fonte: o autor.

Os agentes das ações positivas (“Doação de sangue”, “Escola”, “Hospital”, “Pedágio”) são executados respectivamente nas portas 5001, 5002, 5003 e 5004 e com as quantidades disponíveis de 800, 600, 400 e 200 (variável *qtde_inicial_acoes* descrito na tabela 6) (figura 16).

Figura 16 – 4 agentes de ações positivas



Fonte: o autor.

Quando os agentes são iniciados, é executada a API */iniciar_ciclo* do agente de recurso compartilhado. Esta API irá executar a metaheurística TLBO para calcular o valor de cada ação positiva e atualizar cada ação positiva com o seu valor (fazendo uma requisição da API */atualizar_valor* para cada agente). Nesta simulação, os valores calculados para cada ação foram, respectivamente, 6, 5, 4, e 3.

A seguir, será feita a simulação da execução de 3 ações positivas e demonstrado o comportamento dos agentes quando cada ação é executada.

5.3.1 Primeira ação positiva executada

Neste exemplo, a 1ª ação executada é a de doação de sangue (valor 6), a quantidade de ações disponíveis que inicialmente era 800, passa a ser 799 e uma transação pendente foi adicionada (figura 17). Ao executar esta ação, recebem-se 6 unidades para consumo do recurso compartilhado.

Figura 17 – 1ª ação executada: doação de sangue

localhost:5001/#

Agente Doação de Sangue

Blockchain e transações Nós que compõem a rede

Qtde de ações disponíveis: 799

Blockchain Transações pendentes

Carregar transações pendentes Resolver conflitos

[Transação #0](#)

Nó: 5001
Ação Positiva: Doação de sangue
Qtde de recursos consumidos: 6

Fonte: o autor.

O agente de doação de sangue notifica os demais agentes que uma ação foi executada fazendo a requisição */broadcast-transaction* para todos os agentes. Desta forma, estes agentes notificados também ficam com uma transação pendente; porém, como eles não foram executados, a sua quantidade de ações disponíveis permanece inalterada (figura 18).

Figura 18 – Agentes notificados que a 1ª ação foi executada

The figure displays three screenshots of agent dashboards, each representing a different agent: Escola, Hospital, and Pedágio. Each dashboard shows the agent's name, a 'Blockchain e transações' button, and the text 'Nós que compõem a rede'. Below this, the available actions are listed: Escola (600), Hospital (400), and Pedágio (200). Each dashboard has a 'Blockchain' tab and a 'Transações pendentes' tab. There are two buttons: 'Carregar transações pendentes' and 'Resolver conflitos'. A transaction details box is highlighted in each dashboard, showing the following information:

Transação #0
Nó: 5001
Ação Positiva: Doação de sangue
Qtde de recursos consumidos: 6

Fonte: o autor.

5.3.2 Segunda ação positiva executada

A 2ª ação executada é a da *Escola* (valor 5), a quantidade de ações disponíveis que inicialmente era 600, passa a ser 599 e uma 2ª transação pendente é adicionada.

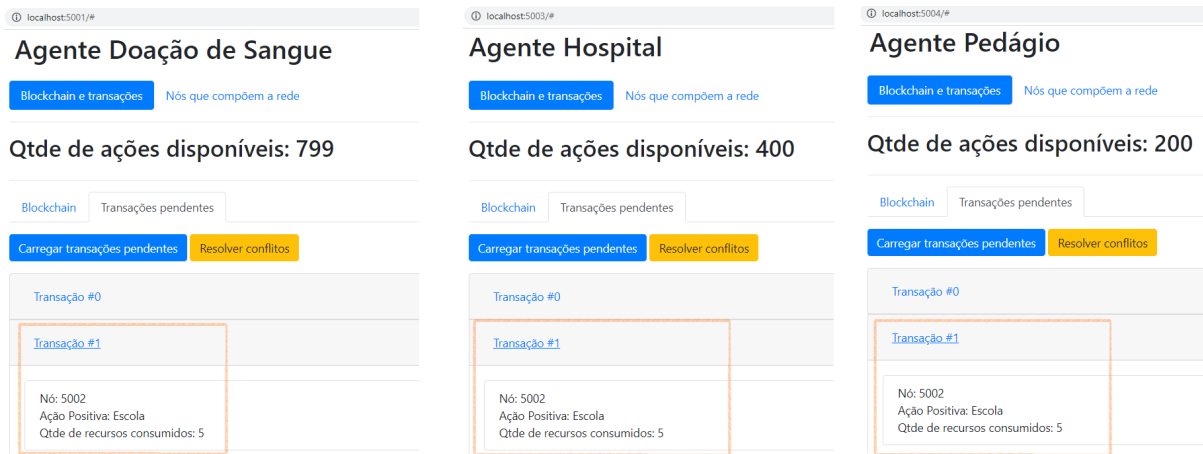
Figura 19 – 2ª ação executada: escola

The screenshot shows a web interface for 'Agente Escola'. At the top, there is a browser address bar with 'localhost:5002/#'. Below it, the title 'Agente Escola' is displayed in large black font. A blue button labeled 'Blockchain e transações' is active, and the text 'Nós que compõem a rede' is visible next to it. A large black text displays 'Qtde de ações disponíveis: 599'. Below this, there are two tabs: 'Blockchain' (selected) and 'Transações pendentes'. Two buttons are present: a blue 'Carregar transações pendentes' and a yellow 'Resolver conflitos'. A list of transactions is shown, with 'Transação #0' and 'Transação #1' (underlined). A summary box at the bottom contains the following information: 'Nó: 5002', 'Ação Positiva: Escola', and 'Qtde de recursos consumidos: 5'.

Fonte: o autor.

O agente de escola notifica os outros agentes que uma ação foi executada fazendo a requisição */broadcast-transaction* para os demais agentes. Desta forma, eles também ficam com uma transação pendente, porém, a sua quantidade disponível permanece inalterada (figura 20).

Figura 20 – Agentes possuem a transação da 2ª ação executada



Fonte: o autor.

5.3.3 Terceira ação positiva executada

A 3ª ação executada é a de doação de sangue (valor 6), a quantidade de ações disponíveis que era 799, passa a ser 798 e uma transação pendente foi adicionada. Como é a 3ª ação adicionada na fila de transações, é criado um bloco com estas transações e os recursos já consumidos do recurso compartilhado, ou seja inicialmente existiam 10.000 disponíveis, com as 3 ações executadas, agora a quantidade disponível é $9983 = 10.000 - 6 (1^a \text{ ação}) - 5 (2^a \text{ ação}) - 6 (3^a \text{ ação})$ (figura 21). O *Bloco #0* que aparece nesta figura é o bloco *Genesis*. Este é o bloco inicial de todo *blockchain*, conforme visto na seção 2.3.

Figura 21 – Bloco adicionado

localhost:5000/#

Agente Recurso Compartilhado Trânsito

Blockchain e transações Nós que compõem a rede

Qtde de ações disponíveis: 9983

Blockchain Transações pendentes

Carregar Blockchain Resolver conflitos

Bloco #0

Bloco #1

Previous Hash: c775ae7455f086e2fc68520d31bfebfdb18ffeaceb933085c510d5f8d2177813

Nó: 5001 Ação Positiva: Doação de sangue Qtde de recursos consumidos: 6
Nó: 5002 Ação Positiva: Escola Qtde de recursos consumidos: 5
Nó: 5001 Ação Positiva: Doação de sangue Qtde de recursos consumidos: 6

Fonte: o autor.

Todos os agentes possuem o bloco adicionado no *blockchain* (figura 22).

Figura 22 – Bloco adicionado nos agentes de ações positivas

The figure consists of four screenshots of agent dashboards, arranged in a 2x2 grid. Each dashboard shows the agent's name, a 'Blockchain e transações' button, and the number of available actions. Below this, there are tabs for 'Blockchain' and 'Transações pendentes', and buttons for 'Carregar Blockchain' and 'Resolver conflitos'. The main content area shows the current block details, including the previous hash and a list of transactions with their IDs and resource consumption.

Agente	Qtde de ações disponíveis	Transações no Bloco #1
Agente Doação de Sangue	798	<ul style="list-style-type: none"> Nó: 5001, Ação Positiva: Doação de sangue, Qtde de recursos consumidos: 6 Nó: 5002, Ação Positiva: Escola, Qtde de recursos consumidos: 5 Nó: 5001, Ação Positiva: Doação de sangue, Qtde de recursos consumidos: 6
Agente Escola	599	<ul style="list-style-type: none"> Nó: 5001, Ação Positiva: Doação de sangue, Qtde de recursos consumidos: 6 Nó: 5002, Ação Positiva: Escola, Qtde de recursos consumidos: 5 Nó: 5001, Ação Positiva: Doação de sangue, Qtde de recursos consumidos: 6
Agente Hospital	400	<ul style="list-style-type: none"> Nó: 5001, Ação Positiva: Doação de sangue, Qtde de recursos consumidos: 6 Nó: 5002, Ação Positiva: Escola, Qtde de recursos consumidos: 5 Nó: 5001, Ação Positiva: Doação de sangue, Qtde de recursos consumidos: 6
Agente Pedágio	200	<ul style="list-style-type: none"> Nó: 5001, Ação Positiva: Doação de sangue, Qtde de recursos consumidos: 6 Nó: 5002, Ação Positiva: Escola, Qtde de recursos consumidos: 5 Nó: 5001, Ação Positiva: Doação de sangue, Qtde de recursos consumidos: 6

Fonte: o autor.

As ações podem ser executadas enquanto existir ações positivas com quantidade disponível a ser executada e enquanto existir recursos compartilhados disponíveis. Caso o agente de recurso compartilhado decida que um novo ciclo deve ser iniciado (configurações *qtde_ciclos* e *tipo_ciclos* da tabela 6), ele efetua o recálculo dos valores de cada AP através da metaheurística utilizando as quantidades então disponíveis de cada AP e de recurso compartilhado e notifica os

agentes de AP do seu novo valor através da requisição */atualizar_valor*.

5.4 EXPERIMENTOS

Foram realizados diferentes experimentos na aplicação de uso *trânsito em cidades inteligentes* (seção 4.6.1) utilizando o RC com o valor de 10.000, ou seja, o modelo possui 10.000 unidades a serem consumidas para verificar o comportamento da abordagem. Estes experimentos foram realizados utilizando a mesma aplicação de uso mas variando as configurações iniciais, aqui denominadas de *cenários*. Assim, consideramos como sendo um cenário, a configuração inicial (quantidades disponíveis iniciais, custos e prioridades das APs e quantidade disponíveis iniciais do recurso compartilhado).

Para facilitar a execução dos experimentos e a obtenção dos resultados, os *blockchains* não foram utilizados, porém, eles poderiam ser aplicados em quaisquer dos cenários a seguir, da mesma forma que a mostrada na seção 5.2. Nestes experimentos foi utilizado sempre a mesma população inicial para a metaheurística realizar o cálculo dos valores das APs. Como visto na seção 2.2, a população inicial é utilizada pela metaheurística e populações iniciais diferentes poderiam induzir a resultados que dificultassem a comparação dos resultados.

Estes experimentos foram realizados para analisar se é possível perceber uma priorização das APs conforme configurado nos cenários, ou seja, se os integrantes da comunidade escolheram para executar mais determinadas APs em detrimento de outras.

5.4.1 Simulador

Foi desenvolvido, em Python, um simulador de cenários para facilitar a execução de experimentos. Ao ser executado, o simulador utiliza os parâmetros definidos para o cenário em questão e calcula o valor de cada ação positiva utilizando a metaheurística TLBO. Este valor é recebido pelo integrante da comunidade sempre que executar a ação positiva. A simulação é executada enquanto existem recursos para serem consumidos.

O simulador recebe como parâmetros:

- tamanho da população: quantidade de soluções que a população possui.
- quantidade de iterações: quantas iterações serão realizadas pela metaheurística. Quando a quantidade de iterações for realizada, a metaheurística seleciona a melhor solução

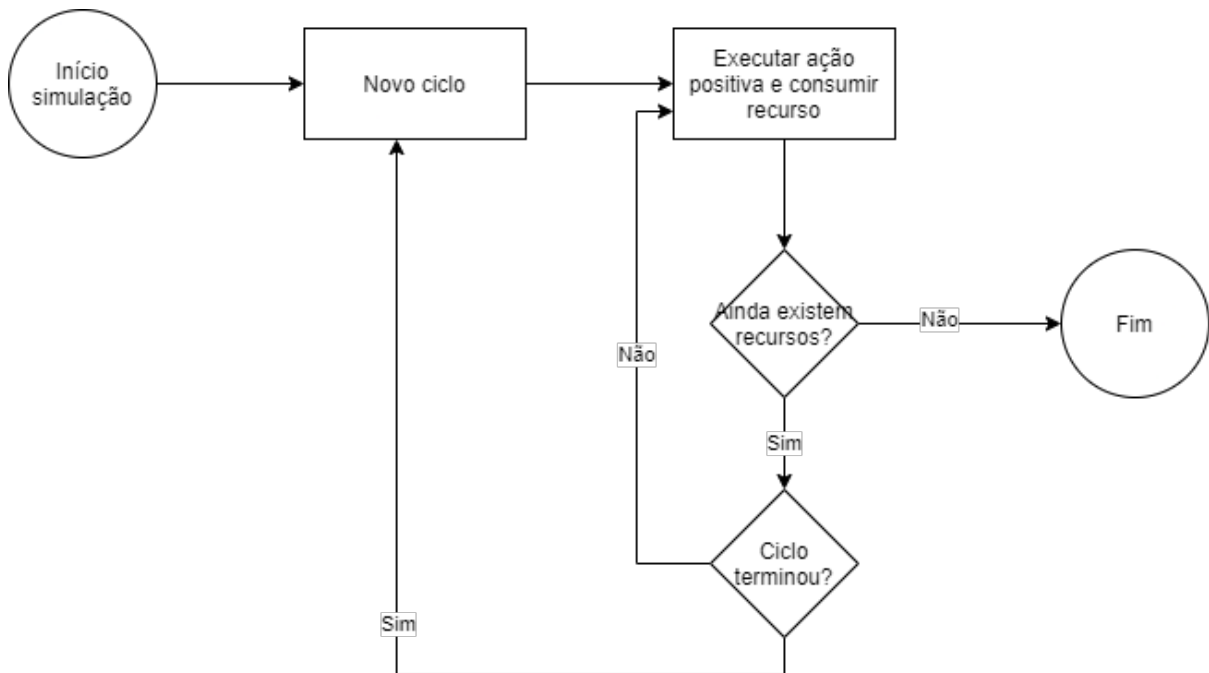
encontrada. A melhor solução é a que possui o melhor fitness.

- quantidade de variáveis de decisão: quantidade de ações positivas que pode ser executada.
- quantidade total de cada ação positiva: quantas unidades de cada ação positiva existem inicialmente para ser executadas.
- prioridade de cada ação positiva: prioridade de cada ação positiva em relação às demais ações.
- custo para execução de cada ação positiva: custo unitário que o integrante de uma comunidade tem para executar uma ação positiva. Quanto maior for a relação valor da ação positiva / custo da ação positiva, melhor será o seu custo/benefício.
- tipo de ciclo: por quantidade de ações executadas ou por recursos consumidos.
- quantidade de ciclos: quantos ciclos devem ser executados.

O simulador inicia criando um novo ciclo (seção 5.4.2) para calcular os valores de cada AP. Enquanto existirem recursos disponíveis, uma AP é executada e o RC é consumido. Se for necessário (configurações *tipo de ciclo* e *quantidade de ciclos* do Simulador), cria-se um novo ciclo. O processo do Simulador pode ser visto na figura 23.

No simulador, a forma como é feita a escolha da AP a ser executada é denominada de *roleta* (seção 5.4.4). Como será visto adiante, o simulador gera os resultados para todas as roletas possíveis.

Figura 23 – Processo do simulador



Fonte: o autor.

5.4.2 Ciclo

Um ciclo é a execução da metaheurística para recalcular o valor de cada ação positiva utilizando na função objetivo (equação 8) as quantidades disponíveis de APs e do recurso compartilhado. O seu objetivo é rebalancear o valor de cada ação positiva conforme estas forem sendo executadas e os recursos forem sendo consumidos. No simulador desenvolvido é possível configurar a quantidade de ciclos de uma simulação e também definir se um novo ciclo deve ser executado quando determinado número de ações for executado ou quando determinada quantidade de RC for utilizada.

Por exemplo: considere um cenário onde existem 4 ações positivas com 200 unidades disponíveis cada, podem ser executadas 800 ações positivas ($4 * 200$) e 2000 unidades de recurso compartilhado. Se for desejado executar 10 ciclos por número de ações executadas, será executado um novo ciclo a cada 80 ações executadas ($800 \text{ ações} / 10 \text{ ciclos}$). A quantidade de recursos consumidos por ciclo pode variar, pois cada ação pode ter diferentes valores; porém, os recursos compartilhados não podem finalizar antes do término do último ciclo. Porém, se for desejado executar 10 ciclos por quantidade consumida de recursos compartilhados, será executado um novo ciclo sempre que 200 unidades do recurso compartilhado forem consumidas. A quantidade de ações executadas por ciclo pode variar, pois cada ação pode ter diferentes

valores; porém, independentemente da duração de um ciclo, os recursos compartilhados não podem terminar antes do fim do último ciclo.

Nos experimentos realizados neste trabalho, os ciclos são executados sempre quando determinado número de ações for executada.

5.4.3 Priorização

Como visto na seção 2.2, a metaheurística trata como restrições os valores máximos possíveis das variáveis de decisão.

O valor de uma AP representa a quantidade do recurso compartilhado que é disponibilizada para o uso em troca da execução da AP. A priorização das APs é feita limitando o valor máximo que pode ser calculado para uma AP. Desta forma, quanto maior a prioridade de uma AP, maior pode ser o seu valor máximo calculado. Ter uma prioridade alta, não garante obrigatoriamente que o valor da AP também será maior, mas permite que isto ocorra.

Por exemplo, em um cenário com 10.000 unidades de recurso compartilhado a serem consumidas e com as possíveis APs, descritas na tabela 7.

Tabela 7 – Exemplo de cenário com priorização

Ação Positiva	Descrição	Quantidade	Prioridade (%)
AP1	Doação de Sangue	500	35
AP2	Voluntário em escola	20	30
AP3	Voluntário em hospital	70	20
AP4	Participação em pedágio	60	15

Fonte: o autor.

O valor máximo que uma ação positiva pode receber é utilizado a cada novo ciclo e definido pela equação 6.

O cálculo do limite máximo de cada AP está demonstrado na tabela 8. Os valores de cada AP (X_i) serão limitados como: $1 \leq X_i \leq L_i$.

Tabela 8 – Exemplo de cálculo do limite máximo de cada AP

Cálculo do limite máximo de cada AP	Resultado	Limites de X_i
$L1 = (10000 \times (35 = 100)) \div 500$	7	$1 \leq X1 \leq 7$
$L2 = (10000 \times (30 = 100)) \div 20$	150	$1 \leq X2 \leq 150$
$L3 = (10000 \times (20 = 100)) \div 70$	28	$1 \leq X3 \leq 28$
$L4 = (10000 \times (15 = 100)) \div 60$	25	$1 \leq X4 \leq 25$

Fonte: o autor.

O fato de uma AP ter uma prioridade mais alta não garante que o seu valor calculado pela metaheurística seja necessariamente alto. A finalidade da metaheurística é minimizar a

função objetivo e dependendo dos cenários, a priorização pode não ocorrer. Como será visto na seção 5.4.6, o cenário C5 foi criado para simular estas situações.

5.4.4 Roletas

Neste trabalho denominamos como *roleta* o método utilizado para simular como um integrante de uma comunidade escolhe qual ação positiva irá realizar. Esta escolha pode ser feita baseada em diferentes critérios. As roletas foram criadas porque não é possível afirmar que todos os integrantes selecionariam APs da mesma forma, mas utilizando-as podemos simular estes diferentes critérios de escolha.

No simulador foram implementadas as roletas por:

- *prioridade*: as ações positivas com maior prioridade têm maior probabilidade de serem selecionadas.
- *valor*: as ações positivas com maior valor têm maior probabilidade de serem selecionadas.
- *quantidade*: as ações positivas com maior quantidade disponível para serem executadas têm maior probabilidade de serem selecionadas.
- *aleatória*: a ação positiva é escolhida aleatoriamente por sorteio. Todas as APs possuem a mesma probabilidade de serem escolhidas.
- *custo-benefício*: a ação positiva com melhor custo-benefício é selecionada. O custo-benefício de uma AP é obtido dividindo o valor pelo custo.
- *todas aleatórias*: cada ação positiva é escolhida utilizando uma roleta diferente (prioridade, valor, quantidade, aleatória e custo-benefício). Esta roleta busca simular o comportamento de uma comunidade onde diferentes indivíduos podem utilizar variados critérios para selecionar uma ação positiva. A roleta a ser usada é escolhida aleatoriamente por sorteio

O simulador executa o experimento de um cenário gerando resultados para cada roleta. Desta forma, é possível comparar os dados obtidos com cada roleta.

5.4.5 Qui-quadrado

Para validação dos cenários simulados foi utilizado o teste qui-quadrado. O teste de Qui-quadrado de independência (X^2) (também conhecido como o teste *Qui-quadrado de Pearson*, ou simplesmente o qui-quadrado) é uma das ferramentas estatísticas mais úteis para testes de hipótese, sendo utilizado para avaliar quantitativamente a relação entre o resultado de um experimento e a distribuição esperada para o fenômeno. Assim, ele afirma o grau de certeza que os valores observados podem ser aceitos como condizente pela teoria em questão (MCHUGH, 2013).

Quando se utilizam 4 variáveis de decisão (como foi utilizado nos experimentos deste trabalho), se o qui-quadrado tiver valor acima de 7,82, existe 95% de probabilidade de haver diferença estatisticamente relevante. Se o valor for acima de 11,34, existe 99% de probabilidade. Se o valor for acima de 16,27, existe 99,9% de probabilidade. Estes valores são retirados da tabela do qui-quadrado (ZIBRAN, 2007). *Haver diferença estatisticamente relevante* significa que a distribuição observada não é aleatória, ou seja, nos cenários simulados alguma ação positiva foi executada mais do que outra, em virtude de alguma priorização.

5.4.6 Cenários

Os cenários a seguir foram executados utilizando 4 ações positivas possíveis a serem executadas e tendo 10.000 unidades do recurso compartilhado para serem consumidos. Os cenários foram criados baseados na aplicação de uso *trânsito em cidades inteligentes* com variações nas quantidades e prioridades de cada ação positiva. Os experimentos foram realizados em 8 cenários conforme tabela 9. Para facilitar a menção às ações positivas “Doação de sangue”, “Trabalho voluntário em escola”, “Trabalho voluntário em hospital” e “Participação em pedágio”, estas estão identificadas utilizando as siglas AP₁, AP₂, AP₃ e AP₄, respectivamente.

Estes cenários foram criados para ilustrar diferentes possibilidades de configuração. O objetivo não é esgotar todas as possibilidades, mas mostrar o comportamento da abordagem em diferentes situações:

- C1: APs com a mesma quantidade e prioridade. Utilizado para comparação com os demais cenários.
- C2: APs com grande variação de quantidade (AP₁ com 10 vezes mais quantidade que AP₃

Tabela 9 – Cenários dos experimentos

Cenário	Quantidade				Prioridade (%)			
	AP ₁	AP ₂	AP ₃	AP ₄	AP ₁	AP ₂	AP ₃	AP ₄
C1	500	500	500	500	25	25	25	25
C2	1500	200	150	150	25	25	25	25
C3	500	500	500	500	60	10	10	10
C4	500	500	500	500	50	30	10	10
C5	1500	200	150	150	60	10	10	10
C6	1500	200	150	150	50	30	15	5
C7	500	400	300	300	60	10	10	10
C8	500	400	300	300	50	30	15	5

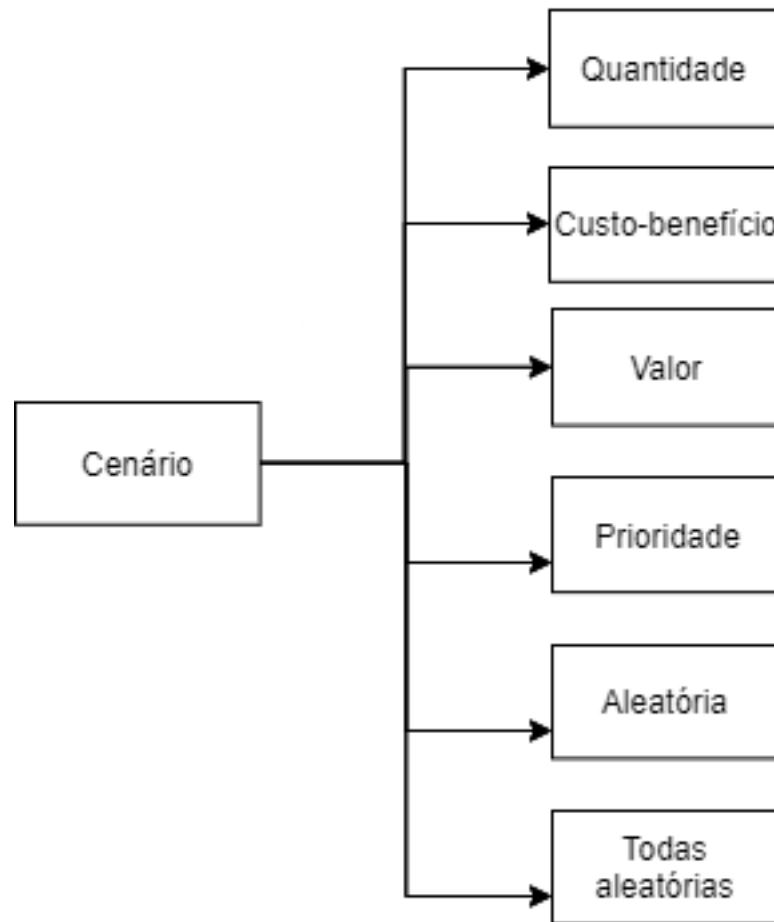
Fonte: o autor.

e AP₄) e mesma prioridade.

- C3: APs com a mesma quantidade e grande diferença de prioridade (AP₁ com a prioridade 7 vezes maior que AP₂, AP₃ e AP₄).
- C4: APs com a mesma quantidade e com diferença de prioridade, porém esta diferença é menor que a de C3.
- C5: APs com grande variação de quantidade (como C2) e grande diferença de prioridade (como C3).
- C6: APs com grande variação de quantidade (como C2 e C5) mas com uma variação de prioridade menor que C3.
- C7: APs com uma variação de quantidade menor que C2, C5 e C6 e com grande diferença de prioridade (como C3 e C6)
- C8: APs com uma variação de quantidade menor (como C5) e com uma variação de prioridade menor (como C5).

Estes 8 cenários foram executados no simulador utilizando as roletas descritas na seção 5.4.4. Desta forma, a configuração de cada cenário será utilizada nas roletas *prioridade*, *valor*, *quantidade*, *aleatória*, *custo-benefício* e *todas aleatórias* (figura 24). O processo executado para cada roleta em cada cenário é o já descrito na seção 5.4.1.

Figura 24 – Roletas executadas em cada cenário



Fonte: o autor.

Os resultados completos encontrados nos 8 cenários estão detalhados na seção Apêndices. A seguir, apresentamos os resultados encontrados nos cenários C1, C4, C5 e C8. Estes cenários foram escolhidos para tentar representar as variações possíveis em cenários que esta abordagem venha a ser aplicada. O C1 mostra um cenário em que todas as APs possuem exatamente a mesma quantidade e prioridade. No C4 todas as APs possuem a mesma quantidade, como o C1, mas 2 APs possuem prioridades diferente das demais. No C5, existe uma grande diferença na quantidade e prioridade do AP₁, em relação às demais APs. O cenário C8 possui uma variação na quantidade disponível de APs, mas menor que a C5, e variação nas prioridades.

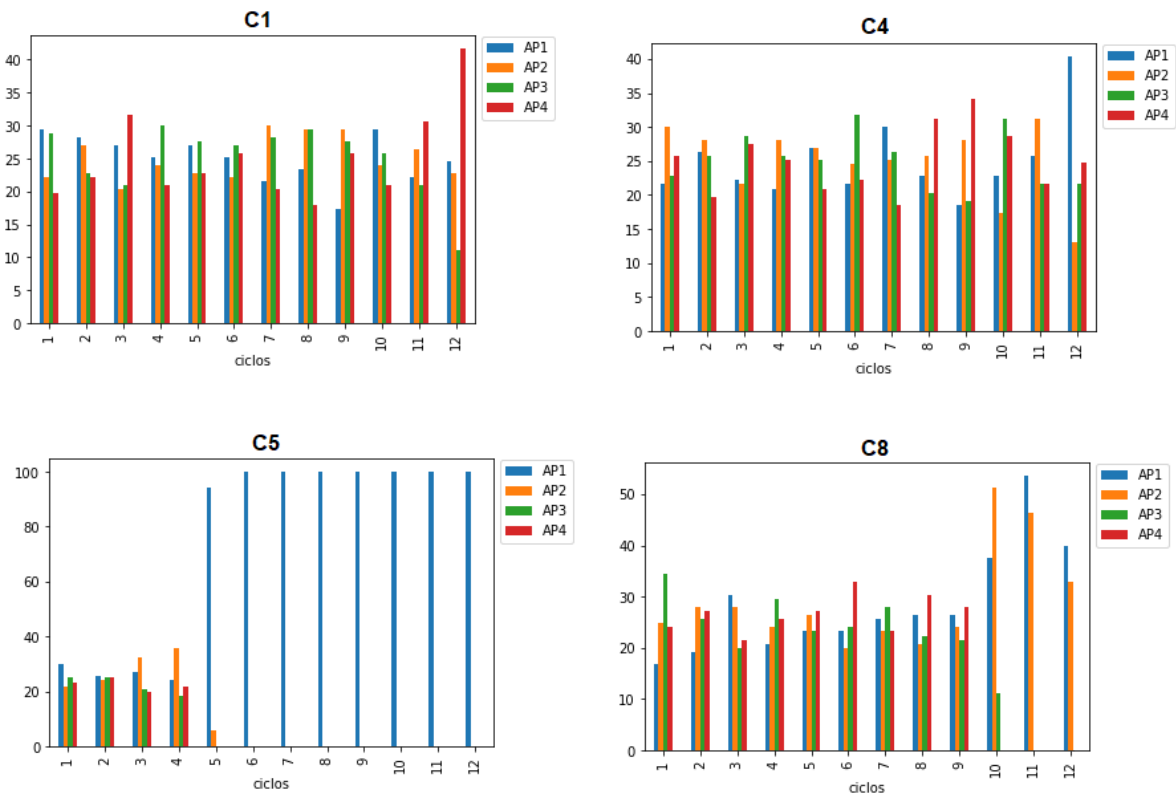
Para facilitar a visualização das informações e comparação dos resultados dos 4 cenários escolhidos, optamos por agrupar os cenários nas roletas executadas, diferentemente do que foi feito na seção Apêndices, onde cada cenário é apresentado com as roletas nela aplicadas.

5.4.6.1 Roleta Aleatória

A roleta *Aleatória* escolhe a ação que será executada de forma randômica. A única restrição para uma AP ser escolhida é ela ainda possuir unidades disponíveis a serem executadas. A roleta *Aleatória* simula o comportamento dos integrantes de uma comunidade que escolhem as APs sem o uso de nenhum critério.

A figura 25 mostra o percentual de execução de cada ação em cada ciclo. Por esse motivo, no cenário C5, todas as ações disponíveis (com exceção da AP₁) terminaram no 5º ciclo. No cenário C8, que também possuem quantidades diferentes disponíveis para as APs, as ações terminaram no 10º ciclo, com exceção das AP₁ e AP₂. Não é possível visualizar nenhuma priorização clara nas ações executadas, resultado já esperado na roleta aleatória. A tabela 10 com os valores qui-quadrado também aponta isto com os valores abaixo de 7,82 enquanto existiam ações disponíveis para serem executadas para cada AP. No C1 e C4, ao executar o 12º ciclo, os valores qui-quadrado foram maiores, pois ocorre uma maior execução das APs com maior quantidade disponível.

Figura 25 – Roleta Aleatória: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

Os valores calculados para cada ciclo em cada cenário estão na figura 26. É possível

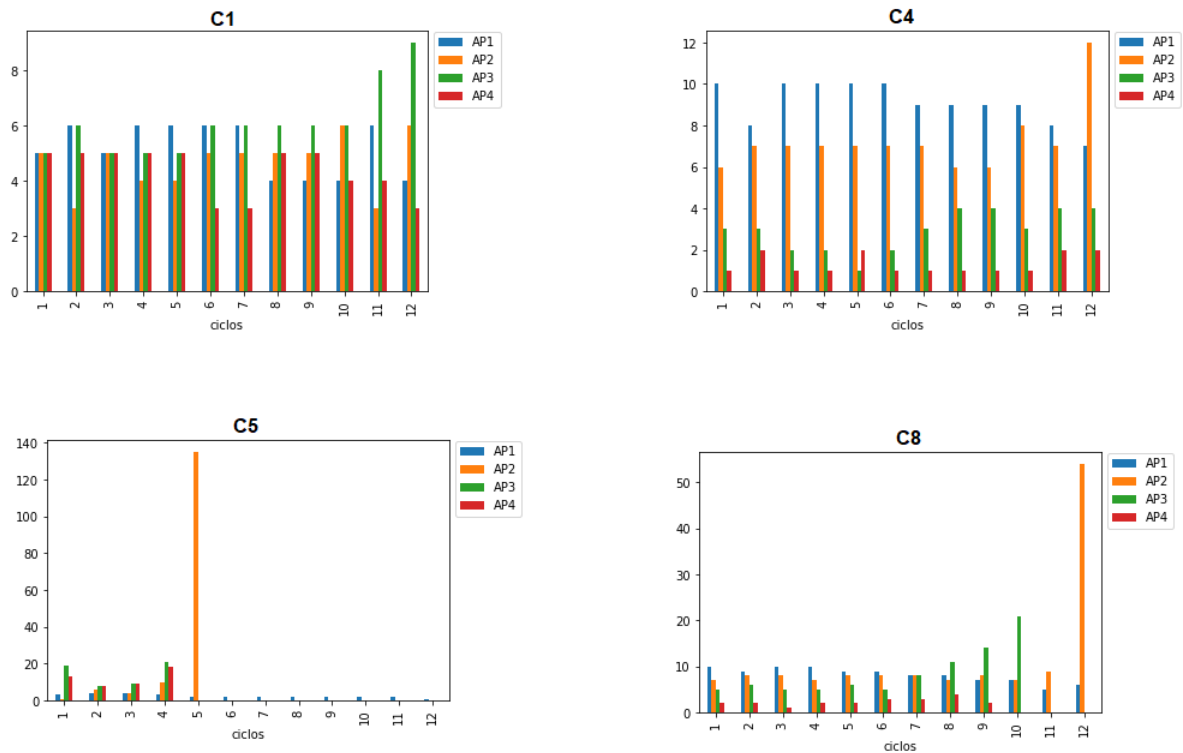
Tabela 10 – Roleta Aleatória: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8

Ciclo	C1	C4	C5	C8
1	2,73	1,67	1,55	6,26
2	1,07	1,58	0,06	1,91
3	3,48	1,61	4,05	2,98
4	1,67	1,07	6,95	1,60
5	0,81	0,95	254,96	0,53
6	0,49	2,62	300	3,60
7	2,70	2,70	300	0,63
8	3,59	2,59	300	2,22
9	3,36	6,75	300	0,94
10	1,47	4,60	300	66,42
11	2,27	2,47	300	101,03
12	19,19	15,59	300	98,01

Fonte: o autor.

perceber que os valores permaneceram muito semelhantes em C1 (cenário que todas as APs possuem a mesma quantidade e prioridade). No C4, os valores calculados para cada AP obedeceram a prioridade estabelecida neste cenário. Em C5, após o fim das unidades disponíveis de AP₂, AP₃ e AP₄, a partir do 6o ciclo, apenas a AP₁ continuava disponível, por isso a metaheurística gerou um valor baixo para ele.

Figura 26 – Roleta Aleatória: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8

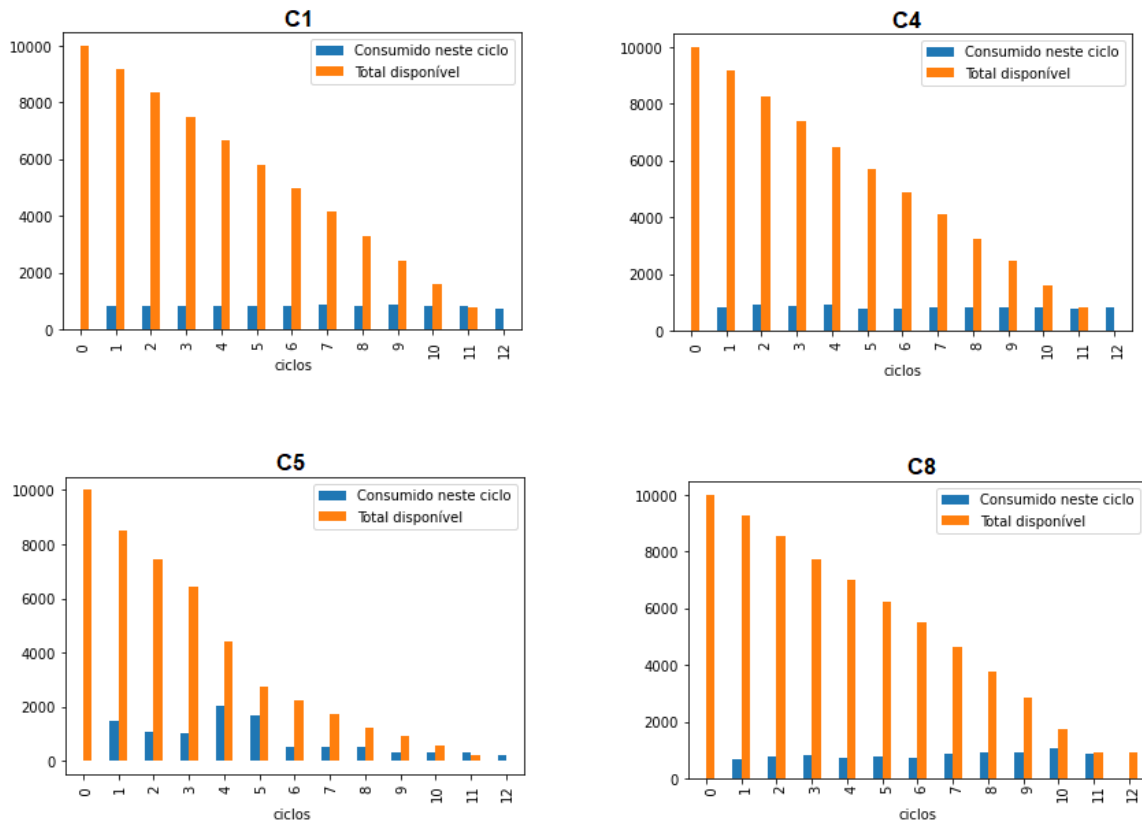


Fonte: o autor.

A figura 27 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi realizado de forma

controlada na roleta *Aleatória*. Em nenhum cenário os recursos compartilhados terminaram antes da execução do 12º ciclo. Isso mostra que a abordagem de recálculo do valor atribuído para cada AP, a cada ciclo, também controla o consumo do recurso compartilhado ao longo do tempo.

Figura 27 – Roleta Aleatória: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

Como esperado, a tabela 10 com os valores qui-quadrado calculados mostra que, enquanto havia unidades disponíveis das APs, não houve priorização.

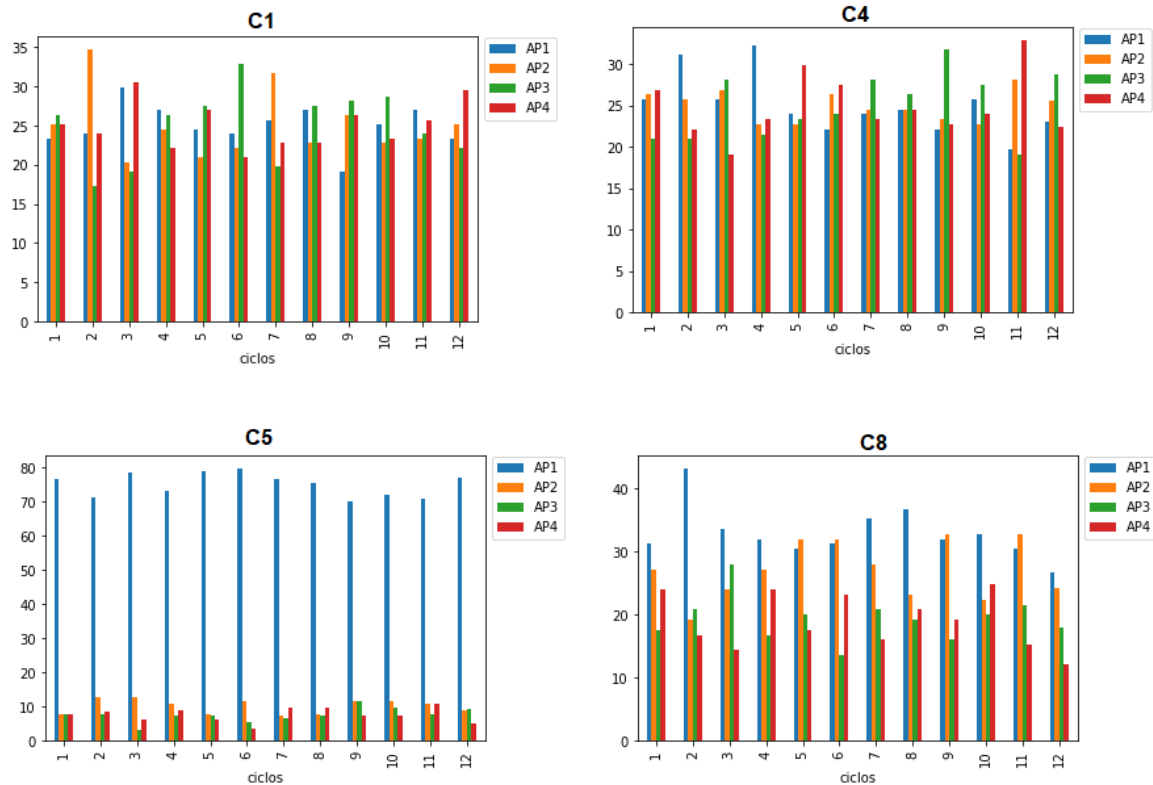
5.4.6.2 Roleta Quantidade

A roleta *Quantidade* simula o comportamento de uma sociedade que privilegia a escolha de APs que possuem uma quantidade maior disponível a ser executada. As APs com maior quantidade disponível para serem executadas tem maior probabilidade de serem selecionadas.

A figura 28 mostra o percentual de execução de cada ação em cada ciclo. A roleta *Quantidade* escolhe a ação que será executada baseando-se apenas na quantidade disponível. Nos cenários C1 e C4, onde as APs tem a mesma quantidade, não houve priorização. Nos cenários C5 e C8 ocorreram priorização das ações executadas. No cenário C5 é possível visualizar de forma

clara que a AP₁ foi mais executada que as demais. No cenário C8 também é possível visualizar que a AP₁ foi mais executada em alguns ciclos. A tabela 11 com os valores qui-quadrado corroboram com esta afirmação, onde foi destacado em negrito os valores maiores que 7,82. Quando o qui-quadrado é maior que 7,82, existem 95% de certeza de haver uma diferença estatisticamente relevante entre as frequências das APs.

Figura 28 – Roleta Quantidade: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

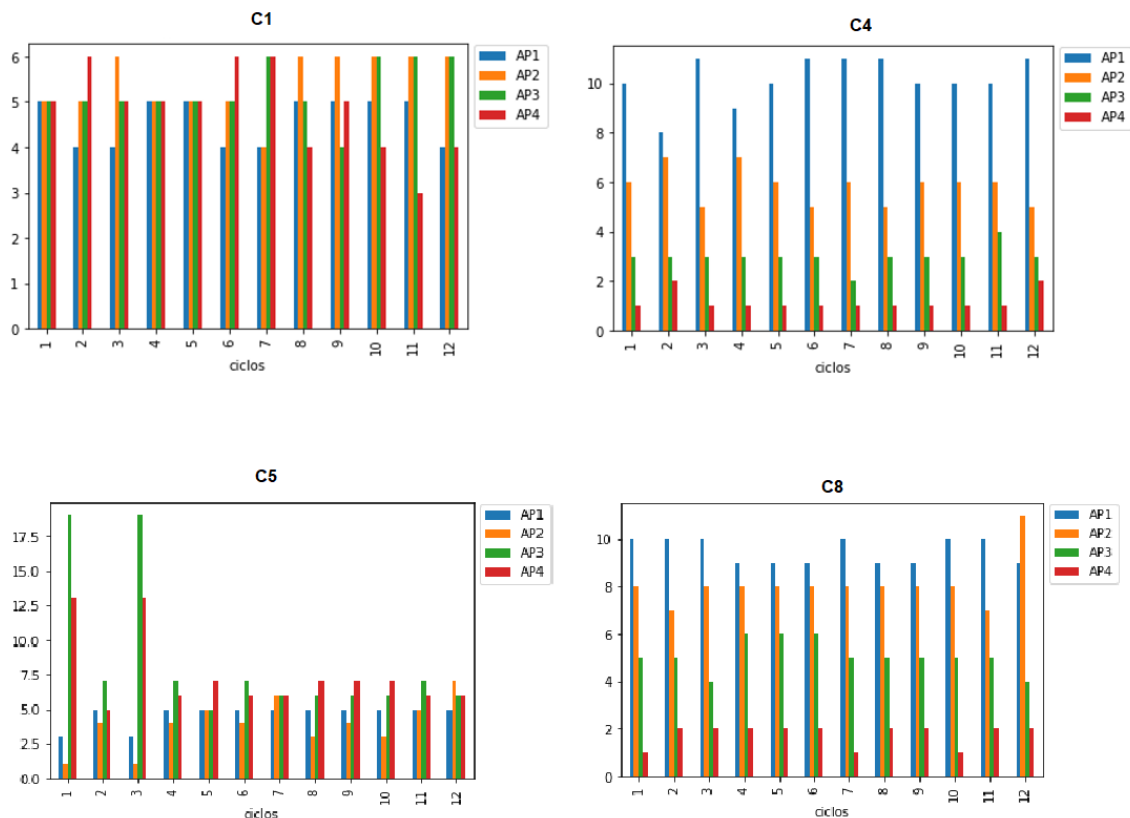
Tabela 11 – Roleta Quantidade: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8

Ciclo	C1	C4	C5	C8
1	0,18	0,89	142,26	3,96
2	6,20	2,50	114,66	17,99
3	4,43	1,93	154,25	7,85
4	0,55	2,93	123,41	4,88
5	1,07	1,33	155,82	6,31
6	3,53	0,69	160,56	8,82
7	3,13	0,55	142,46	8,46
8	0,81	0,09	135,86	7,75
9	1,90	2,44	108,75	8,97
10	0,87	0,52	117,44	3,70
11	0,32	5,37	112,42	7,90
12	1,24	0,96	144,75	7,85

Fonte: o autor.

Os valores calculados para cada ciclo em cada cenário estão na figura 29. É possível perceber que os valores permaneceram muito semelhantes em C1 (cenário que todas as APs possuem a mesma quantidade e prioridade). No C4, os valores calculados para cada AP obedeceram a prioridade estabelecida neste cenário. Já em C5 isto não ocorreu, pois a AP₁, que possui a prioridade maior que as demais AP, também possui uma quantidade disponível muito maior. Em C8, é possível perceber que os valores calculados respeitaram a prioridade definida.

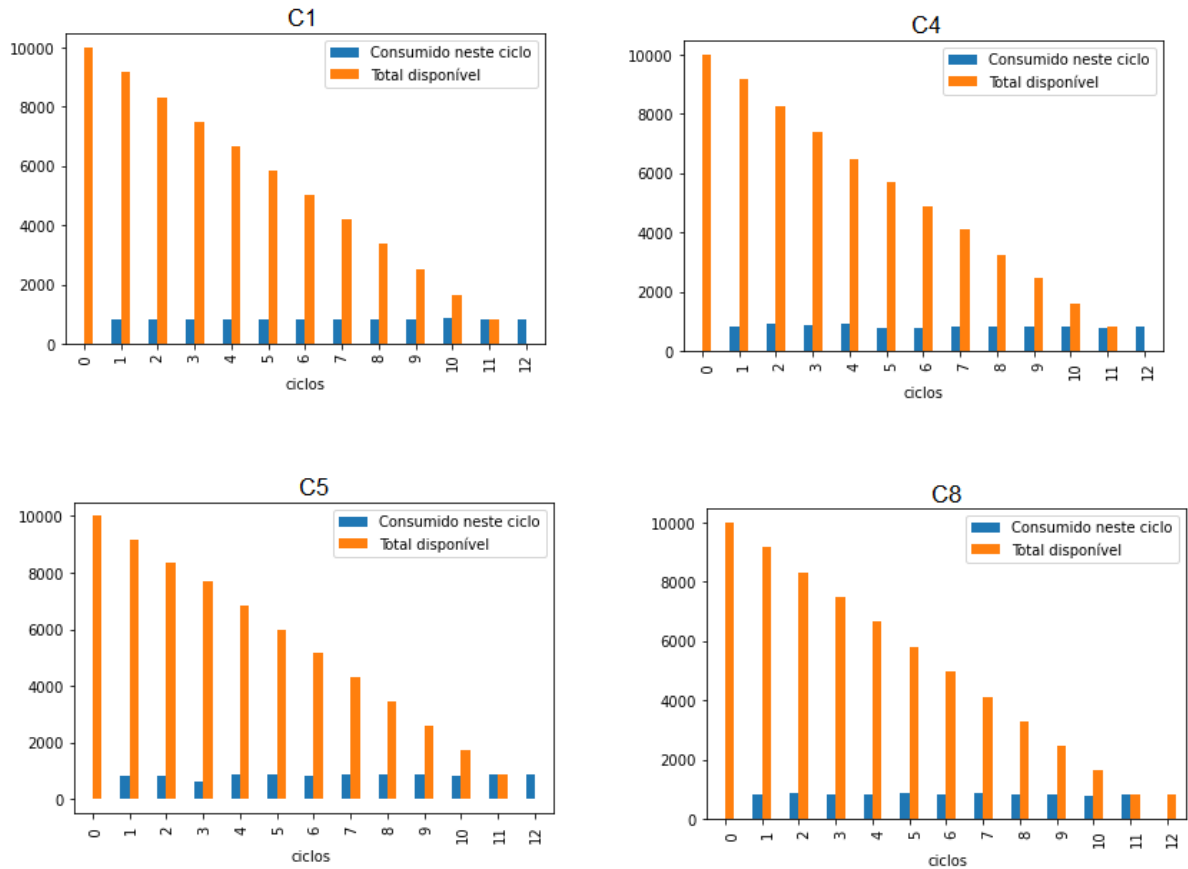
Figura 29 – Roleta Quantidade: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

A figura 30 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi realizado de forma controlada. Em nenhum cenário os recursos compartilhados terminaram antes da execução do 12º ciclo, independentemente de ter havido ou não priorização na execução das APs.

Figura 30 – Roleta Quantidade: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



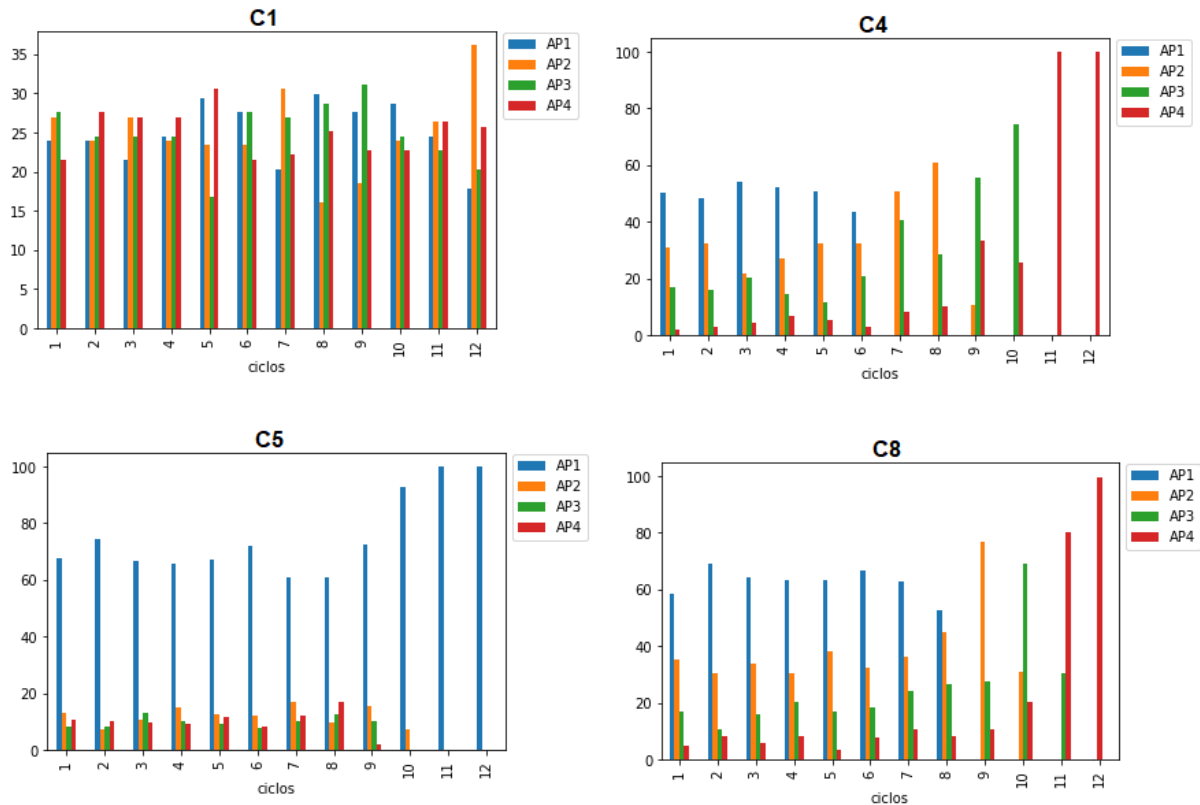
Fonte: o autor.

5.4.6.3 Roleta Prioridade

Na roleta *Prioridade*, as APs com maior prioridade tem maior probabilidade de serem selecionadas. O seu objetivo é simular o comportamento de uma comunidade cujos integrantes privilegiam a escolha de APs que possuem uma prioridade maior.

A figura 31 mostra o percentual de execução de cada ação em cada ciclo. O cenário C1 é o único que possui a prioridade igual. A tabela 12 mostra que o C1 é o único com os valores abaixo de 7,82, mostrando que não houve priorização. Apenas o 12º ciclo do C1 teve valor acima de 7,82, devido ao fato da AP₂ ter uma quantidade maior disponível no último ciclo. Os cenários C4, C5 e C8 tiveram valores bem acima de 16,27 (destacado em **negrito**), mostrando que houve 99,9% de probabilidade de haver alguma priorização. Este é o resultado esperado porque esta roleta usa justamente a prioridade das APs como critério de seleção.

Figura 31 – Roleta Prioridade: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

Tabela 12 – Roleta Prioridade: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8

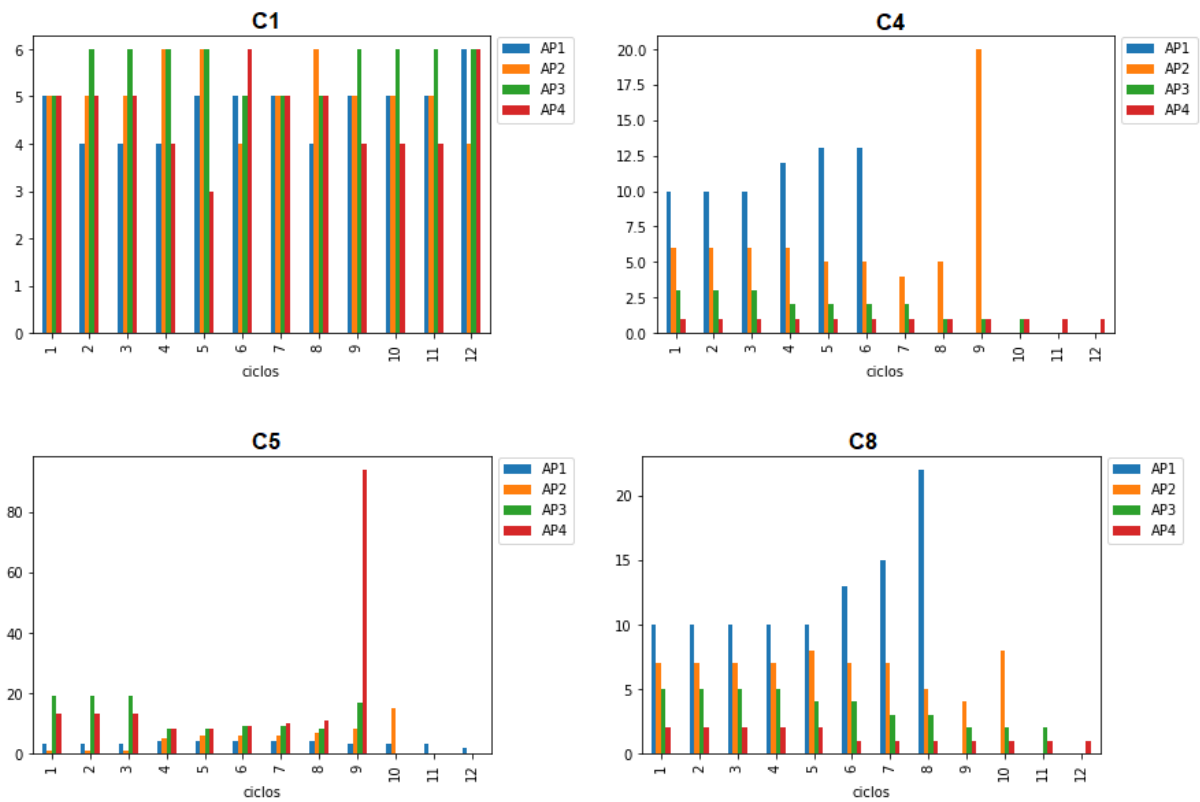
Ciclo	C1	C4	C5	C8
1	0,92	51,35	97,54	42,66
2	0,35	46,73	129,55	66,78
3	0,78	52,04	91,97	48,35
4	0,21	47,59	89,88	45,28
5	4,80	51,78	94,64	62,68
6	1,10	36,18	117,50	43,38
7	2,56	72,75	70,34	34,83
8	4,65	86,41	70,46	26,54
9	3,62	73,67	123,95	96,88
10	0,81	147,05	246,64	61,51
11	0,35	300	300	128,27
12	8,02	300	300	300

Fonte: o autor.

Os valores calculados para cada ciclo em cada cenário estão na figura 32. É possível perceber que os valores permaneceram muito semelhantes em C1 (cenário que todas as APs possuem a mesma quantidade e prioridade). No C4, os valores calculados para cada AP obedeceram à prioridade estabelecida neste cenário. Já em C5 isto não ocorreu, pois a AP₁, que possui a prioridade maior que as demais AP, também possui uma quantidade disponível muito maior. Em

C8, é possível perceber que os valores calculados respeitaram a prioridade definida.

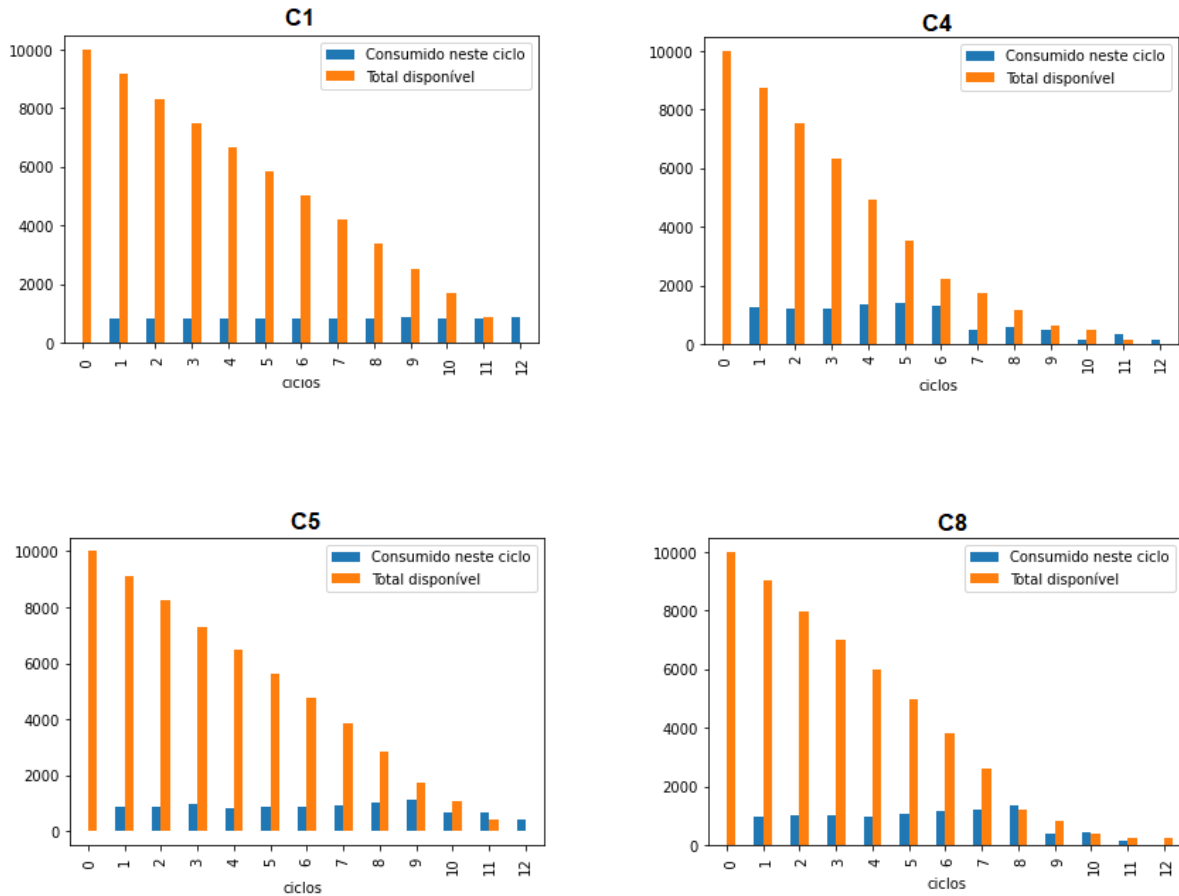
Figura 32 – Roleta Prioridade: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

O consumo dos recursos compartilhados foi realizado de forma controlada, como mostra a figura 33. Em nenhum cenário os recursos compartilhados terminaram antes da execução do 12º ciclo.

Figura 33 – Roleta Prioridade: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

A simulação do cenário C5 mostra que, mesmo havendo uma priorização, se uma AP possuir uma quantidade disponível exageradamente maior, esta AP não terá um valor calculado maior que as demais APs.

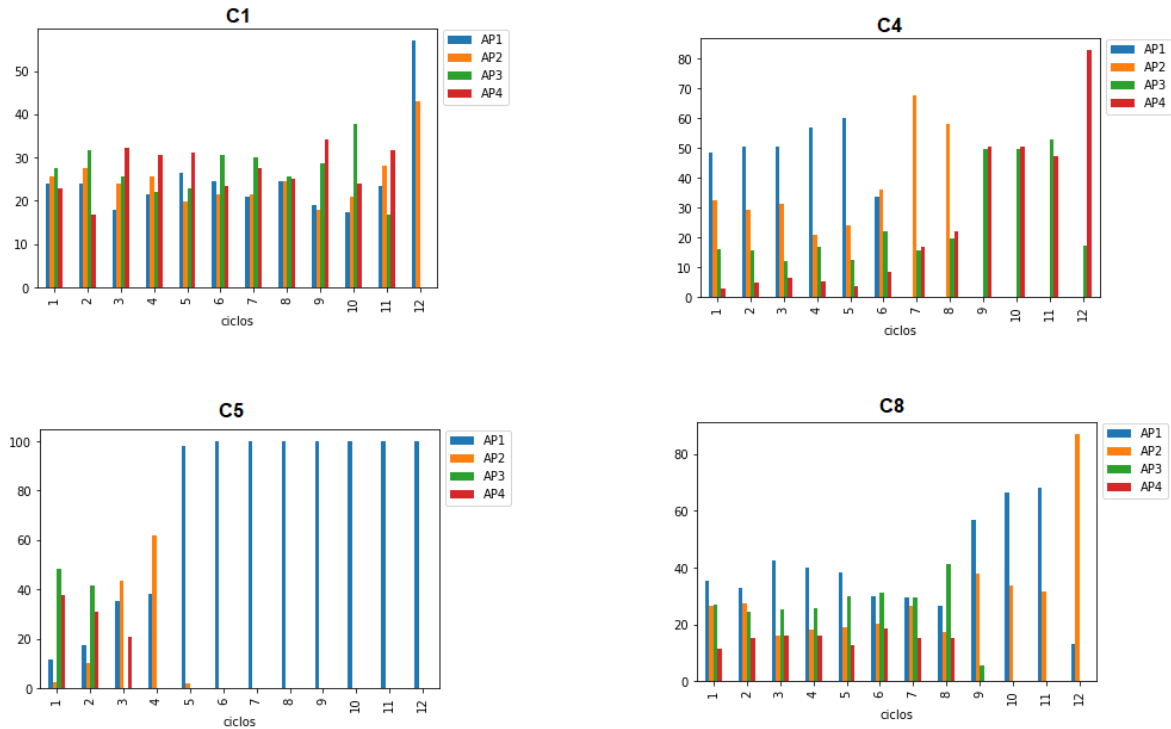
5.4.6.4 Roleta Valor

Na roleta *Valor*, as APs com maior valor calculado pela metaheurística em cada ciclo possuem maior probabilidade de serem selecionadas. O seu objetivo é simular o comportamento dos integrantes de uma comunidade que privilegiam a escolha de APs que possuem um valor maior.

Na figura 34 é possível ver o percentual executado de cada ação positiva em cada um dos 12 ciclos em cada cenário. No C1, como esperado, não é possível identificar uma priorização de nenhuma AP no decorrer da simulação. No C4, pelo fato da AP₁ ter uma prioridade muito maior que as demais ações, a sua disponibilidade terminou no 6º ciclo. Por outro lado, na C5,

mesmo a AP_1 tendo uma disponibilidade bem maior, ela foi a única AP disponível a partir do 6º ciclo.

Figura 34 – Roleta Valor: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

A tabela 13 mostra que em C1, com exceção do 10º e do último ciclo, não houve priorização (valores abaixo de 7,82). Nos últimos ciclos, os valores mais altos ocorreram em virtude do fim das unidades disponíveis, fazendo com que, muitas vezes, o TLBO gere um valor mais alto para alguma AP (figura 35).

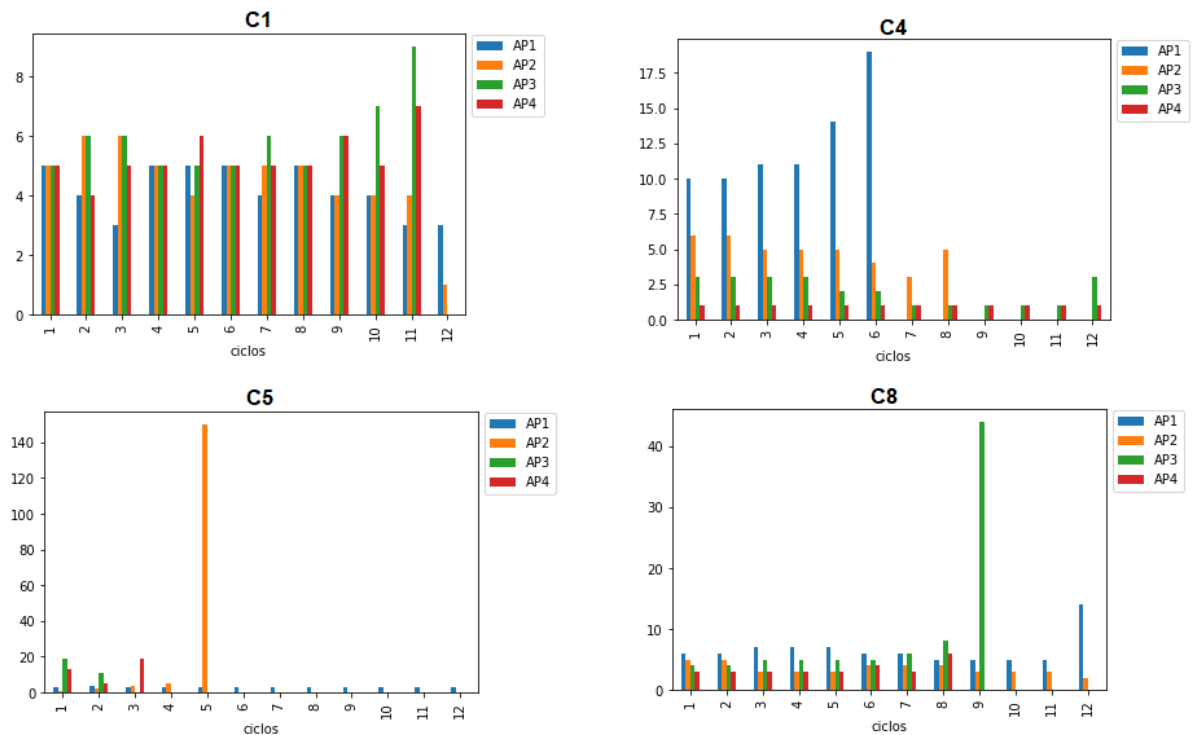
É interessante observar no C8, que mesmo AP_1 e AP_2 sendo as APs com maior probabilidade as AP_3 e AP_4 foram consumidas antes. Isto ocorreu porque os valores calculados pela metaheurística não foram mais altos (figura 35). Como já descrito na seção 5.4.3, o fato de uma AP ter uma prioridade mais alta não garante que o seu valor calculado pela metaheurística seja necessariamente alto. A finalidade principal da metaheurística é minimizar a sua função objetivo e dependendo da configuração de um cenário, a priorização (valor mais alto para determinada AP) pode não ocorrer.

Tabela 13 – Roleta Valor: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8

Ciclo	C1	C4	C5	C8
1	0,52	46,73	56,43	11,91
2	4,82	46,25	23,27	6,80
3	4,19	47,45	43,92	18,51
4	2,04	59,41	110,90	14,26
5	2,87	73,21	285,88	15,61
6	1,81	19,05	300	5,00
7	2,36	104,08	300	5,60
8	0,03	70,20	300	17,07
9	7,23	100	300	87,52
10	9,50	100	300	121,69
11	5,03	100,58	300	126,68
12	103,98	186,18	300	210,21

Fonte: o autor.

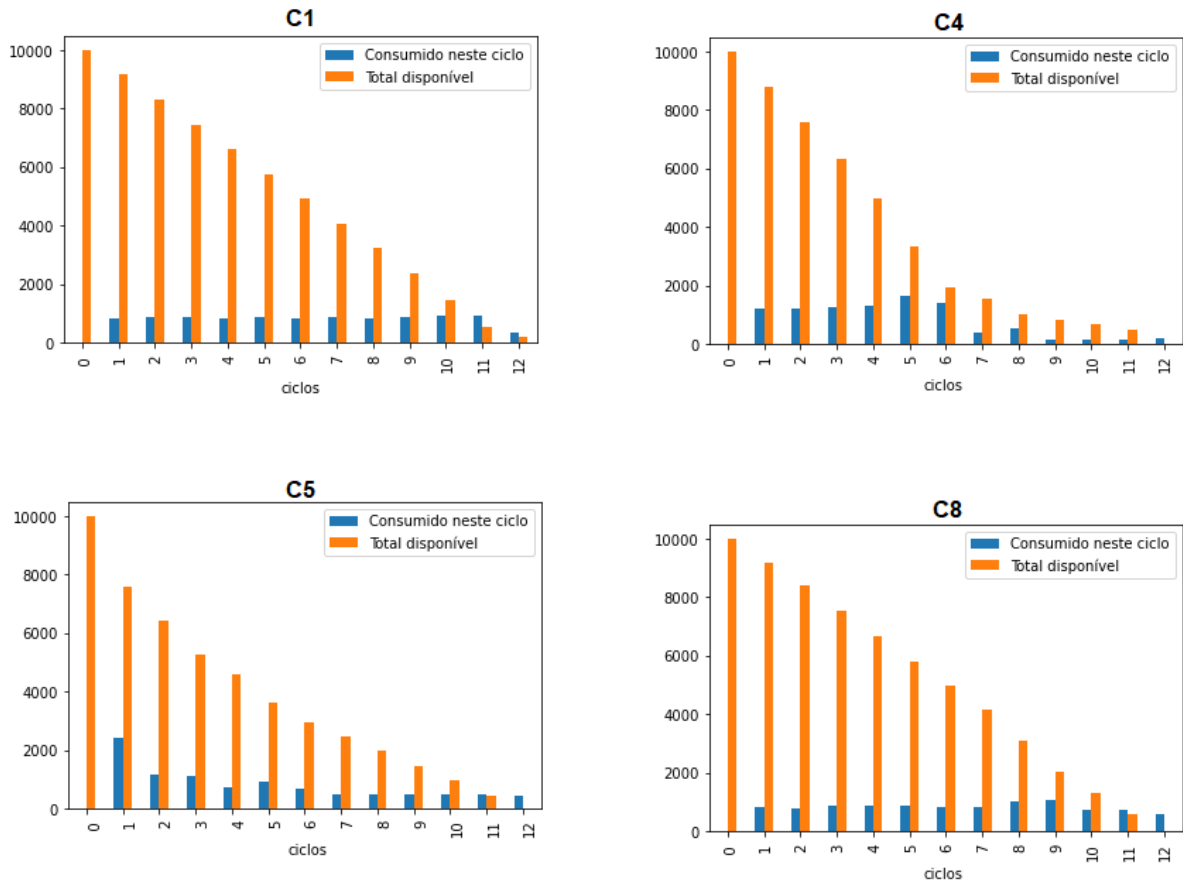
Figura 35 – Roleta Valor: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

A figura 36 mostra que, também nesta simulação, o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada até o último ciclo de cada cenário.

Figura 36 – Roleta Valor: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

A simulação do cenário C5 mostra que, mesmo havendo uma priorização, se uma AP possuir uma quantidade disponível exageradamente maior, esta AP não terá um valor calculado maior que as demais APs.

5.4.6.5 Roleta Custo-Benefício

A roleta *custo-benefício* simula o comportamento de uma sociedade que privilegia a escolha de APs que possuem o melhor custo-benefício. Esta roleta utiliza a informação adicional *custo* para a escolha da AP.

Nestes experimentos, foi definido que os custos para a AP1, AP2, AP3 e AP4 são: 1,3, 2, 5 e 10, respectivamente. No 1º ciclo de C1, o valor calculado para cada AP é 5. Por isso, a AP₁ é a escolhida como melhor custo-benefício (detalhes na tabela 14). Como esta roleta seleciona sempre a AP com o maior custo-benefício, esta AP é consumida enquanto houver unidades disponíveis, ou se no cálculo de um novo ciclo, outra AP passe a ter um melhor custo-benefício.

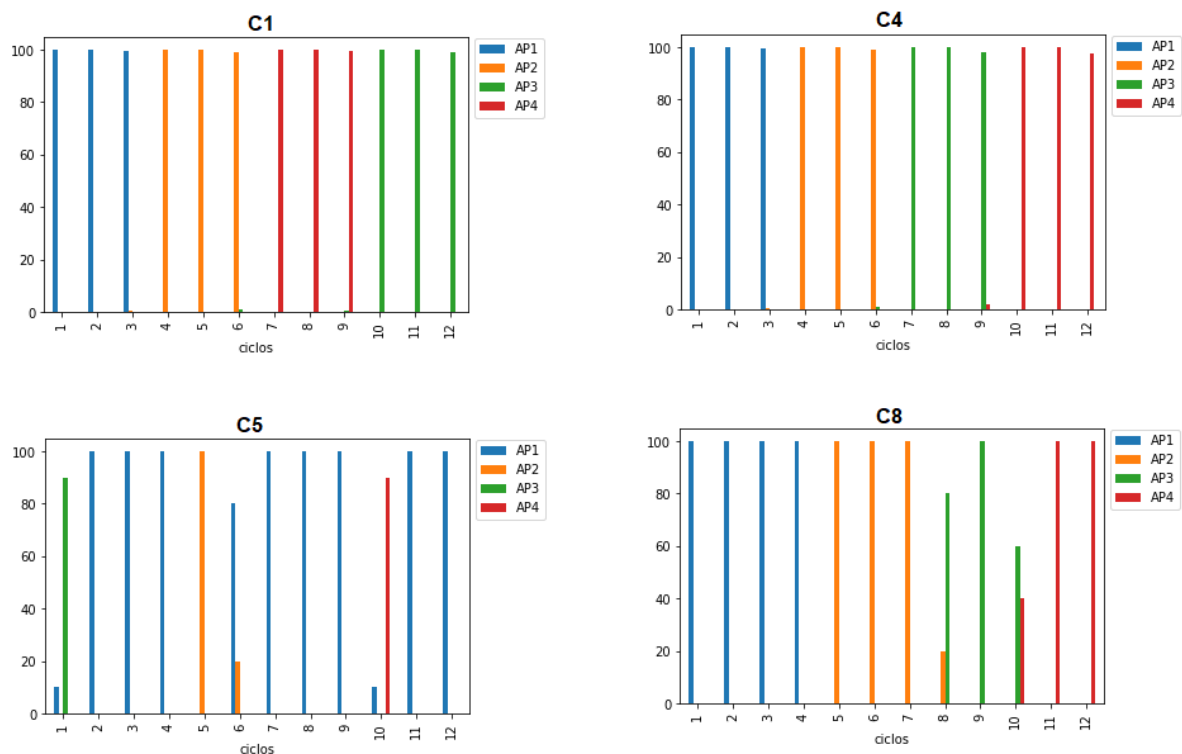
Tabela 14 – Cálculo do custo-benefício no 1o ciclo de C1 (roleta Custo-Benefício)

Ação	Valor	Custo	Custo-Benefício (valor / custo)
AP ₁	5	1,3	2,84
AP ₂	5	2	2,5
AP ₃	5	5	1
AP ₄	5	10	0,5

Fonte: o autor.

Na figura 37 é possível ver que em C5 a AP₃ foi completamente consumida no 1º ciclo, mesmo não sendo a AP com a maior prioridade. Isto mostra que mesmo que uma AP tenha uma grande prioridade, ela pode não ter o melhor custo-benefício se a sua quantidade for muito maior que das demais APs.

Figura 37 – Roleta Custo-Benefício: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

A tabela 15 com os valores qui-quadrados calculados em cada ciclo mostra que houve priorização em todos os cenários (valor maior que 16,27 significa que houve 99,9% de probabilidade de ter ocorrido priorização). Estes valores estão destacados em negrito.

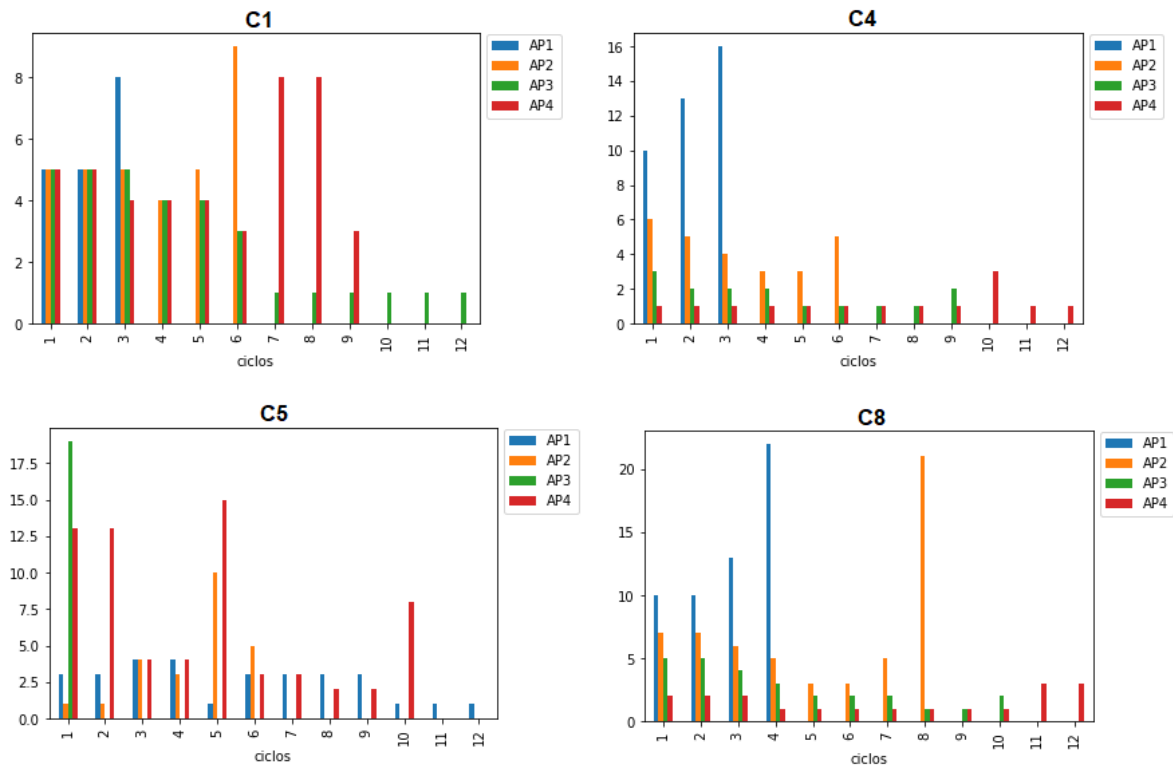
A figura 38 mostra os valores calculados pela TLBO para cada AP nos 12 ciclos de cada cenário. Como esperado, na roleta *custo-benefício*, a AP com maior valor não necessariamente é a que é escolhida para ser executada.

Tabela 15 – Roleta Custo-Benefício: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8

Ciclo	C1	C4	C5	C8
1	300	300	226,85	300
2	300	300	300	300
3	295	295,23	300	300
4	300	300	300	300
5	300	300	300	300
6	290	290,53	173,15	300
7	300	300	300	300
8	300	300	300	172
9	295	285,88	300	300
10	300	300	226,85	108
11	300	300	300	300
12	300	300	300	300

Fonte: o autor.

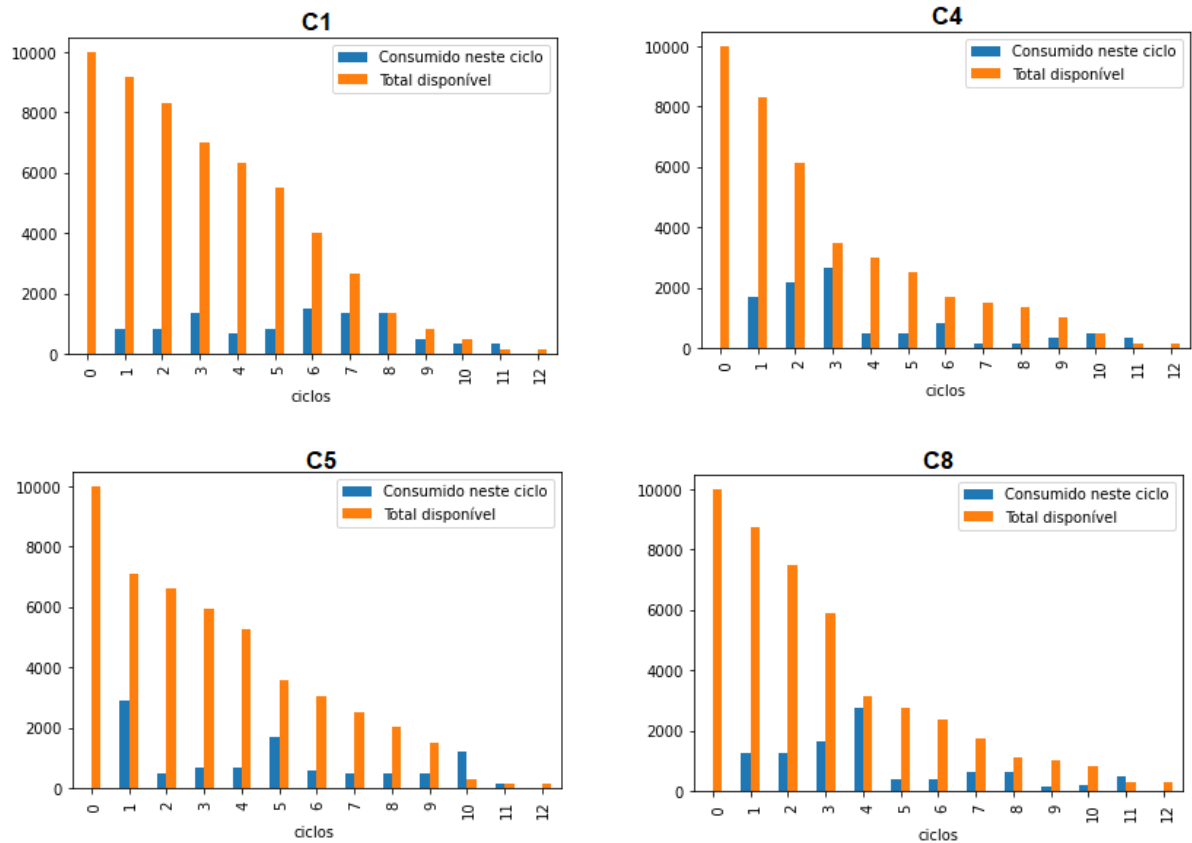
Figura 38 – Roleta Custo-Benefício: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

A figura 39 mostra que o consumo dos recursos compartilhados não termina antes da execução de todos os ciclos.

Figura 39 – Roleta Custo-Benefício: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

Nesta roleta, mais uma vez, no cenário C5 a AP com maior prioridade não foi a primeira AP a terminar a quantidade disponível.

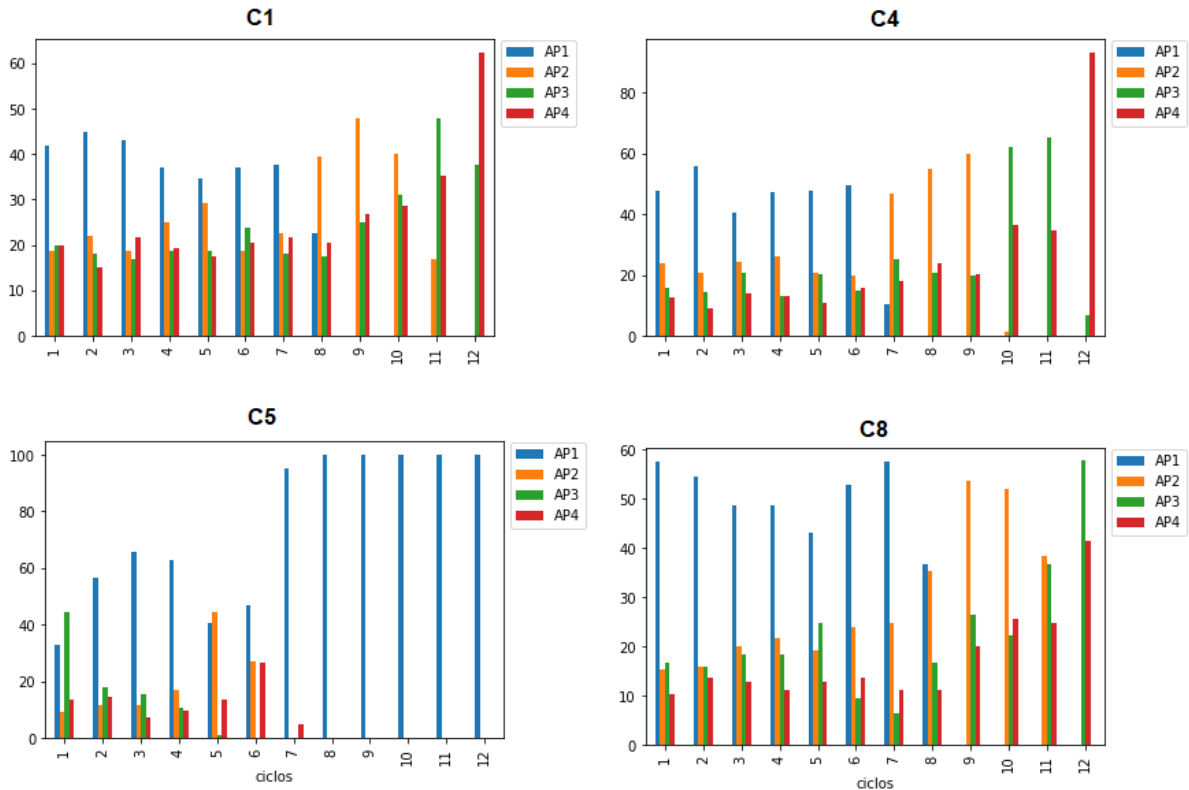
5.4.6.6 Roleta Todas Aleatórias

Na roleta *Todas Aleatórias* cada AP é escolhida utilizando uma roleta diferente a cada AP executada. De forma randômica, é escolhida uma roleta entre as roletas: *prioridade*, *valor*, *quantidade*, *aleatória* e *custo-benefício*. Esta roleta busca simular o comportamento de uma comunidade composta por integrantes com diferentes critérios na escolha de qual AP executar. Este é o comportamento mais provável de uma comunidade em diferentes aplicações de uso.

A figura 40 mostra que inicialmente, em todos os ciclos, a AP₁ foi priorizada. Isso ocorreu por ser a AP escolhida pela roleta custo-benefício, quando esta foi a roleta escolhida para selecionar uma AP. Isso é corroborado pelos resultados obtidos no cálculo da tabela 16 com os valores qui-quadrado calculada para as APs nos ciclos.

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada

Figura 40 – Roleta Todas Aleatórias: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

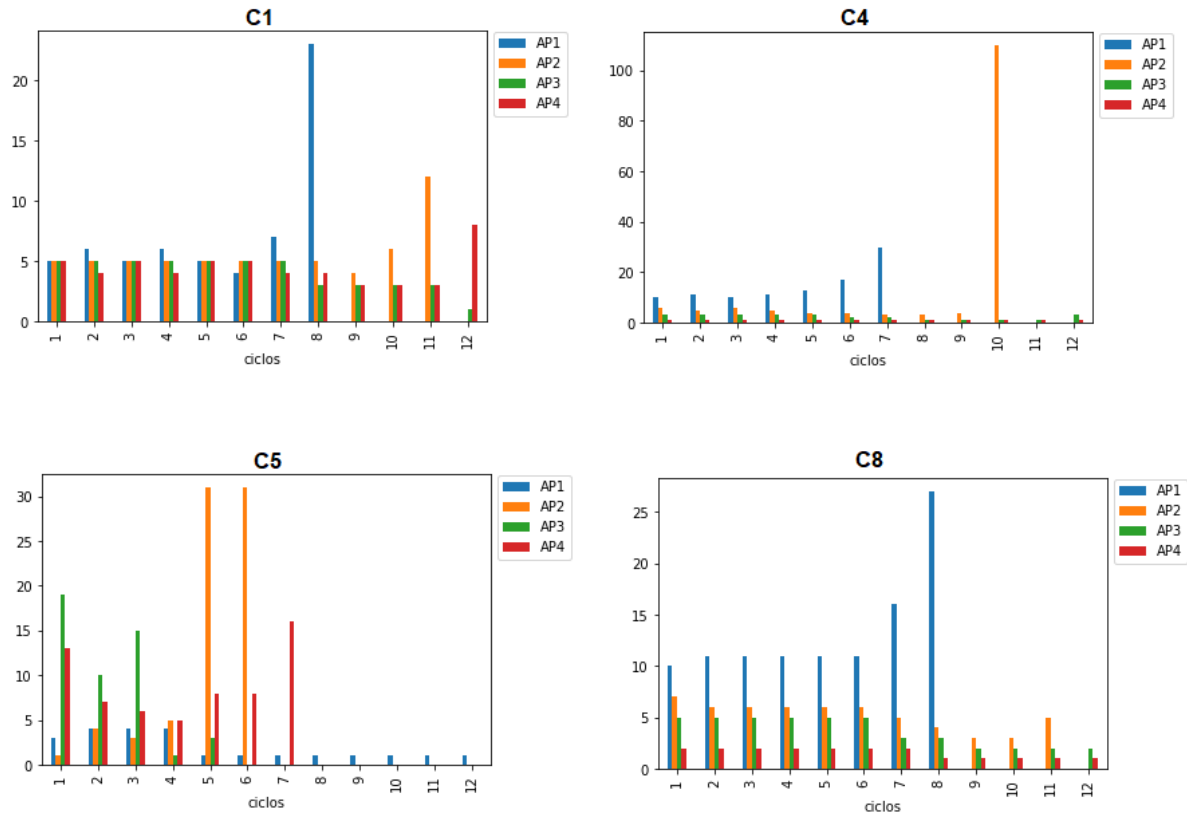
Tabela 16 – Roleta Todas Aleatórias: Qui-quadrado dos ciclos C1, C4, C5 e C8

Ciclo	C1	C4	C5	C8
1	15,29	30,76	32,74	57,56
2	22,18	53,10	53,07	46,25
3	17,96	15,58	90,48	31,35
4	8,90	31,16	77,69	32,48
5	8,53	30,58	52,50	20,55
6	8,44	33,08	44,07	45,63
7	9,13	29,61	263,51	63,96
8	11,82	61,91	300	20,03
9	46,13	75,62	300	58,79
10	36,21	108,55	300	54,44
11	52,96	118,65	300	37,75
12	112,27	249,65	300	72,20

Fonte: o autor.

ciclo estão na figura 41. No 1º ciclo do C1, o valor calculado para cada ação foi 5, isto ocorreu pelo fato de inicialmente, neste cenário, todas as ações terem a mesma configuração (500 unidades disponíveis e prioridade de 25%). O C5 foi o único cenário que o valor de cada AP não correspondeu às prioridades de cada AP. Isto mostra que quando uma AP tem uma quantidade disponível muito maior do que as demais, esta grande oferta faz com que o seu valor calculado seja menor.

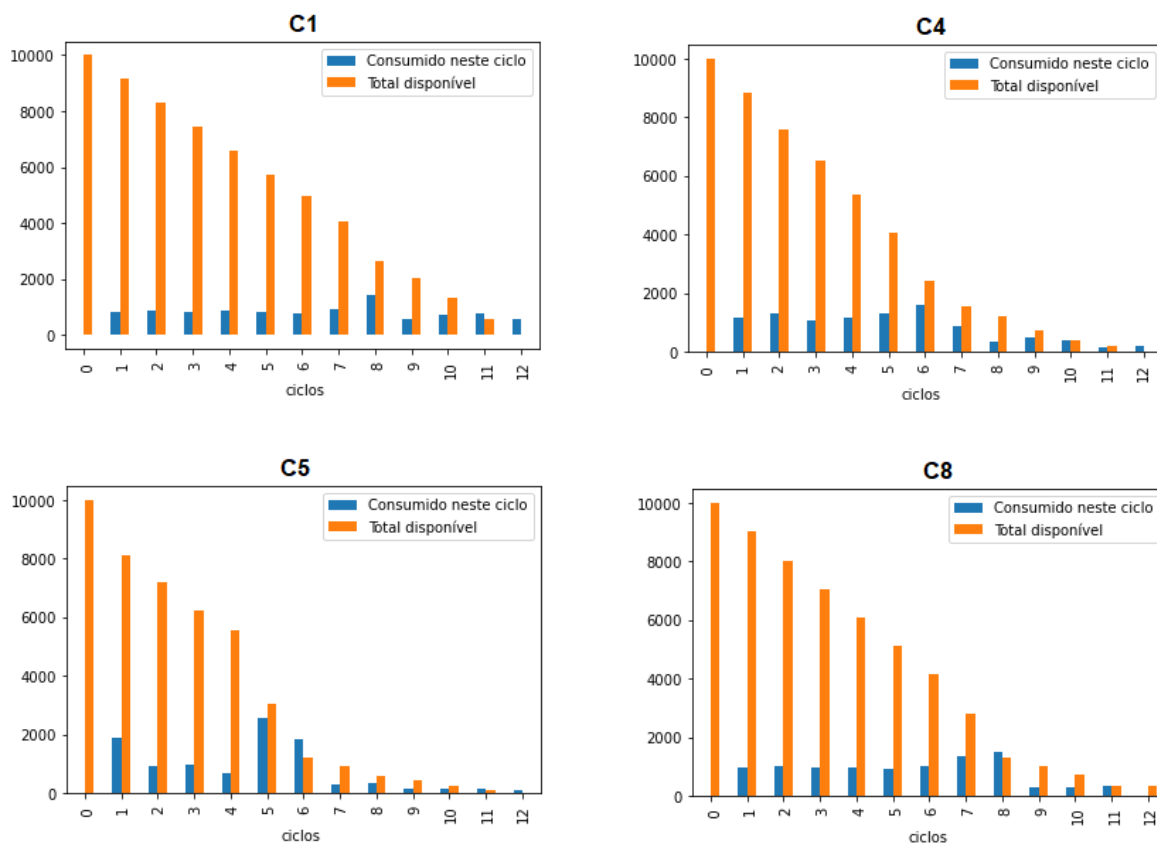
Figura 41 – Roleta Todas Aleatórias: Valores calculados em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

A figura 42 mostra que o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada. Mesmo tendo ocorrido priorização de uma ação positiva e as suas unidades terem finalizado antes do término da simulação, isso não fez com que o consumo dos recursos compartilhados fosse afetado antes da finalização do último ciclo.

Figura 42 – Roleta Todas Aleatórias: Consumo por ciclo em C1, C4, C5 e C8



Fonte: o autor.

5.5 DISCUSSÃO

A utilização de diferentes roletas foi feita para evidenciar o comportamento da comunidade em cada cenário. Para efeitos de comparação, o uso de uma única roleta é importante para verificar se o consumo do recurso compartilhado está sendo feito de forma racional e se a priorização está sendo feita em quaisquer combinações de cenários. Acreditamos que em uma aplicação real, dificilmente uma destas roletas fosse a única utilizada e a *todas aleatórias* é a que mais se assemelha ao comportamento real de uma comunidade.

A priorização desejada ocorreu em praticamente todos os cenários, com exceção do C5. Isto mostra que apenas a prioridade de uma AP não é o suficiente para que a abordagem proposta funcione. Se uma AP com maior prioridade tiver uma oferta muito maior que as demais, isto faz com que a oferta e demanda se torne desproporcional. Como já esperado, na utilização da roleta *prioridade*, a priorização ocorreu em todos os cenários, inclusive no C5.

A utilização da roleta *aleatória* foi importante para demonstrar que, nela, não houve

nenhuma forma de priorização. Isto corrobora com os resultados encontrados nas demais roletas. Estes resultados também foram comprovados pelos valores qui-quadrados encontrados. A priorização não ocorrer na roleta aleatória, além de ser esperado, não é um problema; pois em uma comunidade alguns integrantes até podem escolher uma AP de forma totalmente aleatória, mas este não é o comportamento esperado por grande parte da comunidade.

Embora seja um problema o fato dos resultados apresentados terem sido obtidos a partir de uma simulação, acreditamos que isto não invalide as conclusões apresentadas, visto que para mitigar esta limitação foi empregado o qui-quadrado bem como diferentes cenários e roletas.

6 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi apresentar uma abordagem inteligente na utilização de um recurso compartilhado por uma comunidade e as ações positivas que podem ser feitas em troca da utilização destes recursos.

Este foi um trabalho multidisciplinar, ao propor uma solução para o famoso problema da “tragédia dos comuns” ao mesmo tempo que aplica as idéias de Ostrom e de indução comportamental. Para isso, diferentes áreas foram abrangidas, tais como:

- economia: recurso compartilhado, moedas sociais digitais e arquitetura das escolhas;
- estatística: qui-quadrado;
- inteligência artificial: metaheurísticas;
- sistemas distribuídos: *blockchain*;
- sistemas embarcados: aplicações de uso em cidades inteligentes e Internet das Coisas.

A abordagem proposta é genérica permitindo que a sua aplicação seja feita em diferentes cenários. Como exemplo, este trabalho apresentou 2 aplicações de uso distintas onde a sua utilização poderia ser realizada.

A implementação do *blockchain* foi bem sucedida e se provou uma escolha que satisfaz as necessidades exigidas para orquestrar a utilização de um recurso compartilhado por uma comunidade. A possibilidade de utilizar uma solução que não exija um controle centralizado das operações permite que a abordagem seja aplicada em diferentes cenários. Ao analisar algumas metaheurísticas passíveis de serem utilizadas, optou-se pela TLBO, que dentre as estudadas, é a que exige a menor quantidade de configurações iniciais a ser feita. O modo pelo qual o *blockchain* foi concebido e implementado torna simples a substituição da metaheurística TLBO por outras. O *Simulador* de cenários foi desenvolvido para resolver uma necessidade que aconteceu durante o desenvolvimento do trabalho. A sua implementação mostrou-se muito útil para o desenvolvimento do trabalho e para a comparação dos resultados alcançados.

Embora seja uma limitação os resultados apresentados terem sido obtidos a partir de uma simulação, acreditamos que isto não invalide as conclusões apresentadas, visto que para mitigar esta limitação foi empregado o qui-quadrado bem como diferentes cenários. A implementação

de diferentes tipos de roleta foi feita com o objetivo de simular os vários comportamentos que podem acontecer dentro de uma comunidade e compensar a limitação citada.

Uma das dificuldades durante a execução do trabalho foi a melhor forma de apresentar os resultados encontrados, pois a utilização de diferentes roletas em variados cenários gera rapidamente uma quantidade de informações que torna difícil a sua visualização. Para resolver isso, optou-se por agrupar, por roleta, os resultados encontrados dos cenários que foram considerados mais relevantes. A definição de quais cenários utilizar para tentar cobrir as possibilidades mais relevantes também foi um desafio, por ser importante mostrar diferentes situações sem terem dados redundantes que dificultassem a interpretação. A possibilidade de configurar o simulador desenvolvido para simular diferentes cenários foi de grande valia nesta tarefa.

O qui-quadrado é uma ferramenta estatística utilizada para avaliar quantitativamente a relação entre o resultado de um experimento e a distribuição esperada para o fenômeno. Ele afirma o grau de certeza que os valores observados podem ser aceitos como condizente pela teoria em questão. Neste trabalho, o qui-quadrado foi utilizado para mostrar se alguma AP foi priorizada em detrimento das outras. Na roleta aleatória era esperado que isso não acontecesse. A comparação dos qui-quadrados entre as roletas mostrou este comportamento.

De uma forma geral, vimos que é possível aplicar a arquitetura das escolhas para induzir uma comunidade a priorizar uma AP em detrimento de outras. Esta conclusão é importante se esta abordagem for empregada em políticas públicas, por exemplo. A priorização pode deixar de ocorrer quando as APs possuírem uma grande diferença na sua disponibilidade de unidades a serem executadas. Um estudo a ser realizado seria quando exatamente isto começa a acontecer e em qual proporção isto se torna mais evidente.

Em todos os cenários simulados, a abordagem proposta conseguiu fazer com que os recursos compartilhados não fossem exauridos antes do término das APs disponíveis. Isto é fundamental para alcançar o objetivo principal do trabalho, pois mostra que o recurso é consumido de forma racional como pretendido e que a abordagem pode ser aplicada em diferentes aplicações de uso.

Como trabalhos futuros, poderia ser implementado no *blockchain* o conceito de *wallet* (carteira) para fazer o controle das unidades monetárias que cada integrante da comunidade possui. Isto não foi feito neste trabalho por estar além do escopo pretendido. A implementação da *wallet* abre espaço para implementar e estudar outros conceitos de economia, como a inflação, e o seu efeito no comportamento da comunidade. Sugere-se o uso da economia computacional,

e seus agentes, para analisar a melhor forma que isto poderia ser feito. Assim, seria possível a simulação do comportamento de uma sociedade de uma forma ainda mais realista. Além disso, poder-se-ia aplicar a abordagem com um grupo de pessoas em um contexto real. Também seria interessante comparar o comportamento dos valores calculados pela TLBO com diferentes metaheurísticas, principalmente nos casos em que as unidades de uma AP estão terminando e um novo ciclo é calculado. Vimos que muitas vezes, quando isto ocorreu, a AP recebeu um valor muito maior que os demais.

REFERÊNCIAS

ANANDA, Jayanath; HERATH, Gamini. Incorporating stakeholder values into regional forest planning: a value function approach. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 45, n. 1, p. 75 – 90, 2003.

ASCE. **Infrastructure Report Card**. 2017. Disponível em: <https://www.infrastructurereportcard.org/>. Acesso em: 17 set 2020.

BAGHESTANI, Amirhossein; TAYARANI, Mohammad; ALLAHVIRANLOO, Mahdieh; GAO, H Oliver. Evaluating the Traffic and Emissions Impacts of Congestion Pricing in New York City. **Sustainability**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 12, n. 9, 2020.

BANK, European Central. Virtual Currency Schemes. **EC Bank, Virtual Currency Schemes (h. 13-14). Frankfurt: European Central Bank**, 2012.

BLOCKCHAIN, Imran Bashir Mastering. **Distributed ledger technology, decentralization, and smart contracts explained**. [S.l.]: Packt Publishing, 2018.

CAMERA, Gabriele. A perspective on electronic alternatives to traditional currencies. **Sveriges Riksbank economic review**, v. 1, p. 126 – 148, 2017.

CAO, B.; LI, Y.; ZHANG, L.; ZHANG, L.; MUMTAZ, S.; ZHOU, Z.; PENG, M. When Internet of Things Meets Blockchain: Challenges in Distributed Consensus. **IEEE Network**, v. 33, n. 6, p. 133 – 139, 2019. ISSN 1558-156X.

CARR, Jenna. An introduction to genetic algorithms. **Senior Project**, v. 1, n. 40, 2014.

CHAIN, City. **City Chain**. 2020. Disponível em: <https://www.liberstad.com/about-city-coin.html>. Acesso em: 01 set 2020.

CHASIN, Friedrich; SCHMOLKE, Florian; BECKER, Jörg. Design Principles for Digital Community Currencies. In: **Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences**. [S.l.: s.n.], 2020.

CIVICLEDGER. **CivicLedger**. 2020. Disponível em: <https://civicledger.com/>. Acesso em: 02 set 2020.

COULOURIS, George F; DOLLIMORE, Jean; KINDBERG, Tim. **Distributed systems: concepts and design**. [S.l.]: pearson education, 2011.

CUNHA, Maria Alexandra; PRZEYBILOVICZ, Erico; MACAYA, Javiera Fernanda Medina; SANTOS, Fernando Burgos Pimentel dos. **Smart cities**: transformação digital de cidades. [S.l.]: Programa Gestão Pública e Cidadania, 2016.

DAI, Wei. b-money, 1998. URL [http://www. weidai. com/bmoney. txt](http://www.weidai.com/bmoney.txt).(Last access: 24.set.2020), 1998.

DINIZ, Eduardo H; SIQUEIRA, Erica S; HECK, Eric van. Taxonomy of digital community currency platforms. **Information Technology for Development**, Taylor & Francis, v. 25, n. 1, p. 69 – 91, 2019.

ELBLOX. **Elblox**. 2020. Disponível em: <https://www.elblox.com/about-us/>. Acesso em: 02 set 2020.

ELIASSON, Jonas; HULTKRANTZ, Lars; NERHAGEN, Lena; ROSQVIST, Lena Smidfelt. The Stockholm congestion–charging trial 2006: Overview of effects. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier, v. 43, n. 3, p. 240 – 250, 2009.

ELROM, Elad. Blockchain Basics. *In*: **The Blockchain Developer**. [S.l.]: Springer, 2019. p. 17 – 29.

FAIRBIKE. **Fairbike**. 2020. Disponível em: <https://the-incredible-machine.com/fairbike.html>. Acesso em: 02 set 2020.

FURLONGER, David; UZUREAU, Christophe. **The real business of blockchain**: how leaders can create value in a new digital age. [S.l.]: Harvard Business Review Press, 2019.

GAUNT, Martin; RYE, Tom; ISON, Stephen. Gaining public support for congestion charging: lessons from referendum in Edinburgh, Scotland. **Transportation research record**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 1960, n. 1, p. 87 – 93, 2006.

GREEN, Colin P; HEYWOOD, John S; NAVARRO, Maria. Traffic accidents and the London congestion charge. **Journal of public economics**, Elsevier, v. 133, p. 11 – 22, 2016.

GUEGAN, Dominique. Public blockchain versus private blockchain. 2017.

HARDIN, Garrett. The Tragedy of the Commons. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 162, n. 3859, p. 1243 – 1248, 1968. ISSN 0036-8075. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/162/3859/1243>.

HEPBURN, Paul. Local democracy in a digital age: Lessons for local government from the Manchester congestion charge referendum. **Local Government Studies**, Taylor & Francis, v. 40, n. 1, p. 82 – 101, 2014.

HORTA, Ricardo Lins. Arquitetura de escolhas, direito e liberdade: notas sobre o “paternalismo libertário”. **Pensar-Revista de Ciências Jurídicas**, v. 22, n. 2, p. 651 – 664, 2017.

HUANG, Xiaohong; ZHANG, Yong; LI, Dandan; HAN, Lu. An optimal scheduling algorithm for hybrid EV charging scenario using consortium blockchains. **Future Generation Computer Systems**, Elsevier, v. 91, p. 555 – 562, 2019.

KALKO, A. **Tudo está em Jogo**. 2016. Site da SuperInteressante. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/tudo-esta-em-jogo/>.

KALMI, Tomi *et al.* Comparison of Blockchain-based Technologies for Implementing Community Currencies. 2018.

KENNEDY, J.; EBERHART, R. Particle swarm optimization. *In: Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*. [S.l.: s.n.], 1995. v. 4, p. 1942–1948 – vol.4.

KING, Sunny; SCOTT NADAL. Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. **self-published paper, August**, v. 19, 2012.

MASSE, Mark. **REST API Design Rulebook: Designing Consistent RESTful Web Service Interfaces**. [S.l.]: O'Reilly Media, Inc., 2011.

MCHUGH, Mary L. The chi-square test of independence. **Biochemia medica**, Medicinska naklada, v. 23, n. 2, p. 143 – 149, 2013.

MIRJALILI, Seyedali. Genetic algorithm. *In: Evolutionary algorithms and neural networks*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 43 – 55.

MONEDAPAR. **Moneda Par**. 2020. Disponível em: <https://monedapar.com.ar>. Acesso em: 20 ago 2020.

NAKAMOTO, Satoshi; BITCOIN, A. A peer-to-peer electronic cash system. **Bitcoin.–URL: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf**, 2008.

NAM, Taewoo; PARDO, Theresa A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *In: Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 282 – 291.

OLI, **Oli SharEnergy**. 2020. Disponível em: <https://www.my-oli.com/de/>. Acesso em: 01 set 2020.

OSTROM, Elinor. **Governing the commons**: The evolution of institutions for collective action. [S.l.]: Cambridge university press, 1990.

PAIVA SOBRINHO, Ranulfo; GARCIA, JUNIOR RUIZ; MAIA, Alexandre Gori; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Tecnologia Blockchain: inovação em pagamentos por serviços ambientais. **Estudos Avançados**, SciELO Brasil, v. 33, n. 95, p. 151 – 176, 2019.

PALMA, André De; LINDSEY, Robin. Traffic congestion pricing methods and technologies. 2009.

PERCOCO, Marco. The effect of road pricing on traffic composition: Evidence from a natural experiment in Milan, Italy. **Transport Policy**, Elsevier, v. 31, p. 55 – 60, 2014.

PIERRO, Massimo Di. What is the blockchain? **Computing in Science & Engineering**, IEEE, v. 19, n. 5, p. 92 – 95, 2017.

POSITIVEBLOCKCHAIN. **PositiveBlockchain - SolarCoin**. 2020. Disponível em: <https://positiveblockchain.io/database/solarcoin/>. Acesso em: 24 ago 2020.

RABINOVITCH, Jonas; LEITMAN, Josef. Urban planning in Curitiba. **Scientific American**, JSTOR, v. 274, n. 3, p. 46 – 53, 1996.

RAO, R.V.; SAVSANI, V.J.; VAKHARIA, D.P. Teaching–learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems. **Computer-Aided Design**, v. 43, n. 3, p. 303 – 315, 2011. ISSN 0010-4485. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448510002484>.

REHAN, GM; MAHMOUD, HS. The Integration Between Transportation Solutions, Economic Development and Community Development as an Approach for Sustainability–A Case Study of Curitiba, Brazil. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 5, n. 1, p. 47 – 53, 2011.

REYNA, Ana; MARTÍN, Cristian; CHEN, Jaime; SOLER, Enrique; DÍAZ, Manuel. On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. **Future generation computer systems**, Elsevier, v. 88, p. 173 – 190, 2018.

RIBERA, Eric Garcia. **Design and Implementation of a Proof-of-Stake Consensus Algorithm for Blockchain**. 2018. Dissertação (Mestrado) — Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.

RODRIGUES, Denis; MEIRELLES, Fernando; CUNHA, Maria Alexandra. Benefícios do Blockchain para moedas sociais digitais. 2018.

SANTOS, Georgina. Urban congestion charging: a comparison between London and Singapore. **Transport Reviews**, Taylor & Francis, v. 25, n. 5, p. 511 – 534, 2005.

SILVA, L.; SENNA, C.; ZÚQUETE, A. Using Reputation as a Coin to Bet on Information Items Distributed in a Smart City. *In: 2019 Fifth Conference on Mobile and Secure Services (MobiSecServ)*. [S.l.: s.n.], 2019.

SMARTCITYCOIN. **SmartCityCoin**. 2020. Disponível em: <http://smartcitycointest.net/>. Acesso em: 29 out 2020.

SOLARCOIN. **SolarCoin**. 2020. Disponível em: <https://solarcoin.org>. Acesso em: 22 ago 2020.

STEVENS, Arnoud *et al.* Digital currencies: Threats and opportunities for monetary policy. **Economic Review**, National Bank of Belgium, n. i, p. 79 – 92, 2017.

STOCKER, Adam; STEPHENS, Sara. Evaluating the Potential of Cooperative Ridesourcing: A Case Study of Arcade City in Austin, Texas. 2019.

STORN, Rainer; PRICE, Kenneth. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. **Journal of global optimization**, Springer, v. 11, n. 4, p. 341 – 359, 1997.

TALBI, El-Ghazali. **Metaheuristics**: from design to implementation. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009. v. 74.

THALER, Richard H; SUNSTEIN, Cass R. **Nudge**: Improving decisions about health, wealth, and happiness. [S.l.]: Penguin, 2009.

WASHBURN, Doug; SINDHU, Usman; BALAOURAS, Stephanie; DINES, Rachel A; HAYES, N; NELSON, Lauren E. Helping CIOs understand “smart city” initiatives. **Growth**, v. 17, n. 2, p. 1 – 17, 2009.

WILLRICH, Sven; STRAUB, Tim; WEINHARDT, Christof. Blockchain-based Governance for Social Welfare in the Forestry. **WI2020, Potsdam, 09.-11.03. 2020-Community Tracks**, 2020.

XU, Xiwei; WEBER, Ingo; STAPLES, Mark. **Architecture for blockchain applications**. [S.l.]: Springer, 2019.

ZIBRAN, Minhaz Fahim. Chi-squared test of independence. **Department of Computer Science, University of Calgary, Alberta, Canada**, p. 1 – 7, 2007.

ZOU, Feng; CHEN, Debao; XU, Qingzheng. A survey of teaching–learning-based optimization. **Neurocomputing**, v. 335, p. 366 – 383, 2019. ISSN 0925-2312. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231218312621>.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CENÁRIO C1

Este cenário foi executado com a configuração descrita na tabela 17.

Tabela 17 – Configuração do cenário 1

	AP₁	AP₂	AP₃	AP₄
Quantidade	500	500	500	500
Prioridade (%)	25	25	25	25
Custo	1.3	2	5	10

Fonte: o autor.

Para cada roleta foram executados 12 ciclos, cada ciclo recalcula, utilizando a metaheurística TLBO, o valor de cada ação conforme a quantidade de unidades disponíveis de cada ação positiva e das unidades ainda não consumidas de recursos compartilhados. A informação *custo* é utilizada apenas pela roleta custo-benefício.

A.1 CENÁRIO C1: ROLETA QUANTIDADE

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão descritos na tabela 18. No 1º ciclo, o valor calculado para cada ação foi 5, isto ocorreu pelo fato de inicialmente, neste cenário, todas as ações terem a mesma configuração (500 unidades disponíveis e prioridade de 25%) (figura 43).

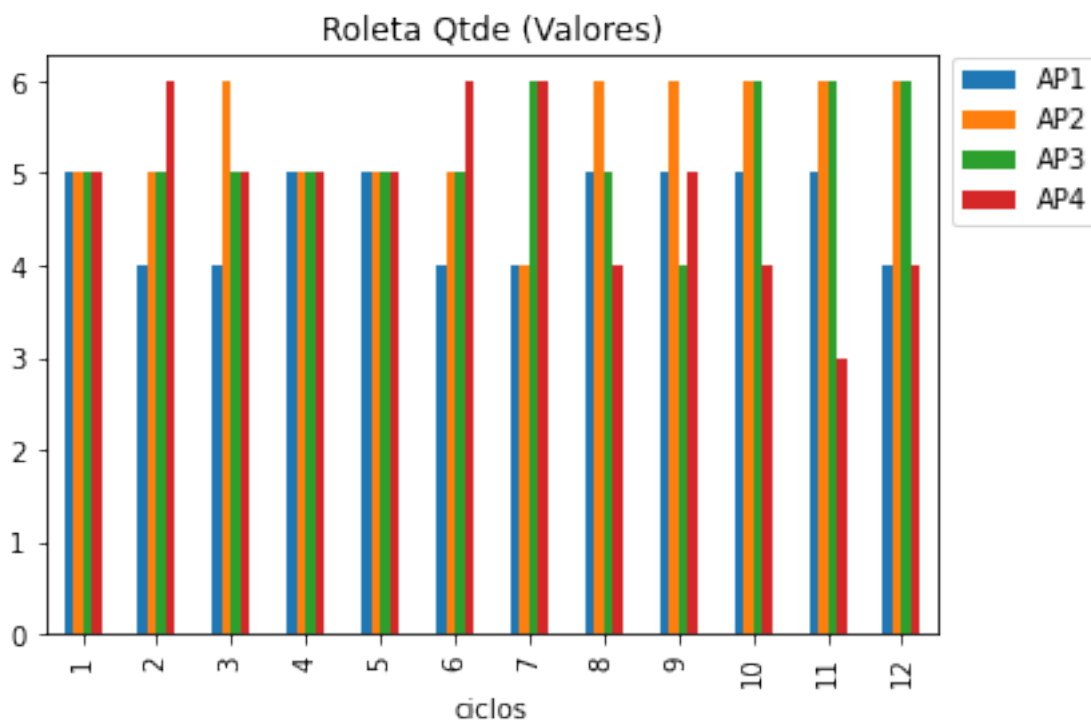
Tabela 18 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta quantidade

Ciclo	AP₁	AP₂	AP₃	AP₄
1	5	5	5	5
2	4	5	5	6
3	4	6	5	5
4	5	5	5	5
5	5	5	5	5
6	4	5	5	6
7	4	4	6	6
8	5	6	5	4
9	5	6	4	5
10	5	6	6	4
11	5	6	6	3
12	4	6	6	4

Fonte: o autor.

Na figura 44 é possível ver o percentual executado de cada ação positiva em cada 1 dos 12 ciclos. Não é possível identificar uma priorização de nenhuma AP no decorrer da simulação. Isso é corroborado pelos resultados obtidos no cálculo da tabela qui-quadrado calculada para as APs nos ciclos (tabela 19).

Figura 43 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta quantidade



Fonte: o autor.

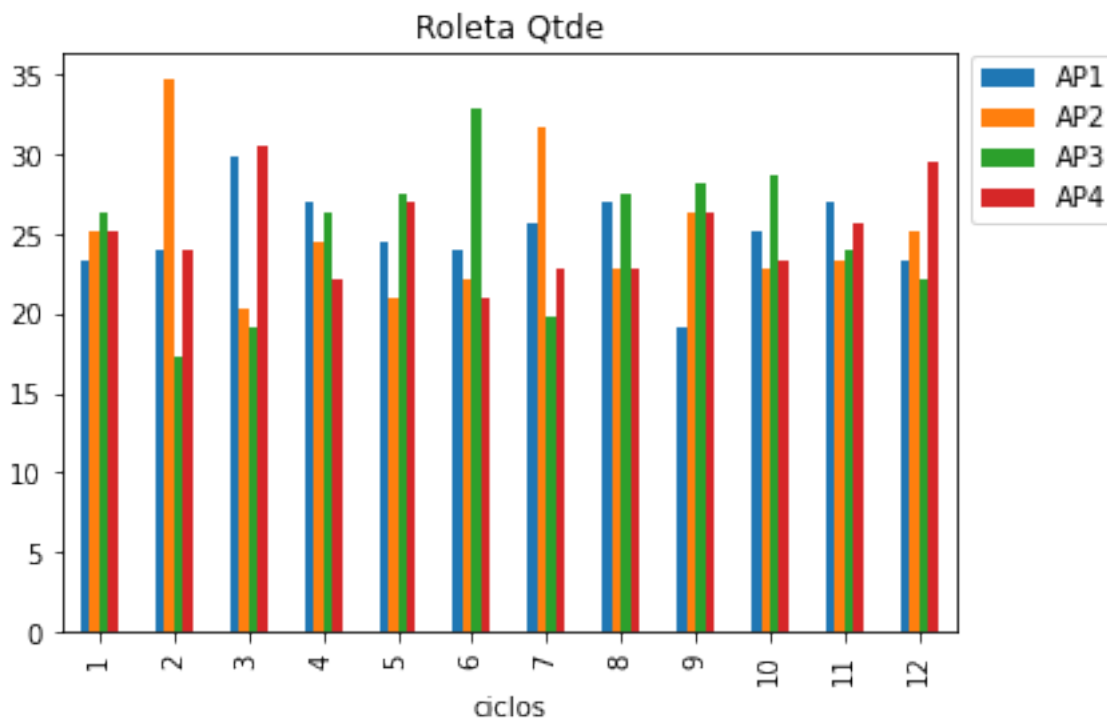
Tabela 19 – Cenário 1: (roleta quantidade): qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	0,18
2	6,20
3	4,43
4	0,55
5	1,07
6	3,53
7	3,13
8	0,81
9	1,90
10	0,87
11	0,32
12	1,24

Fonte: o autor.

A figura 45 mostra como o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada, de modo que os recursos compartilhados não terminem antes da execução de todos os ciclos. Isto ocorre devido os valores calculados para cada ação durante os ciclos levarem em consideração a quantidade ainda disponível de recursos compartilhados e de ações positivas. No ciclo 0, ou seja antes de iniciar a simulação, as 10.000 unidades de recurso compartilhado estão disponíveis e é no 12º ciclo que ocorre o consumo das últimas unidades disponíveis.

Figura 44 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta quantidade



Fonte: o autor.

A.2 CENÁRIO C1: ROLETA ALEATÓRIA

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão descritos na tabela 20. No ciclo 1, o valor para cada ação calculado foi 5, isto ocorreu pelo fato de inicialmente, neste cenário, todas as ações terem exatamente a mesma configuração (500 unidades disponíveis e prioridade de 25%).

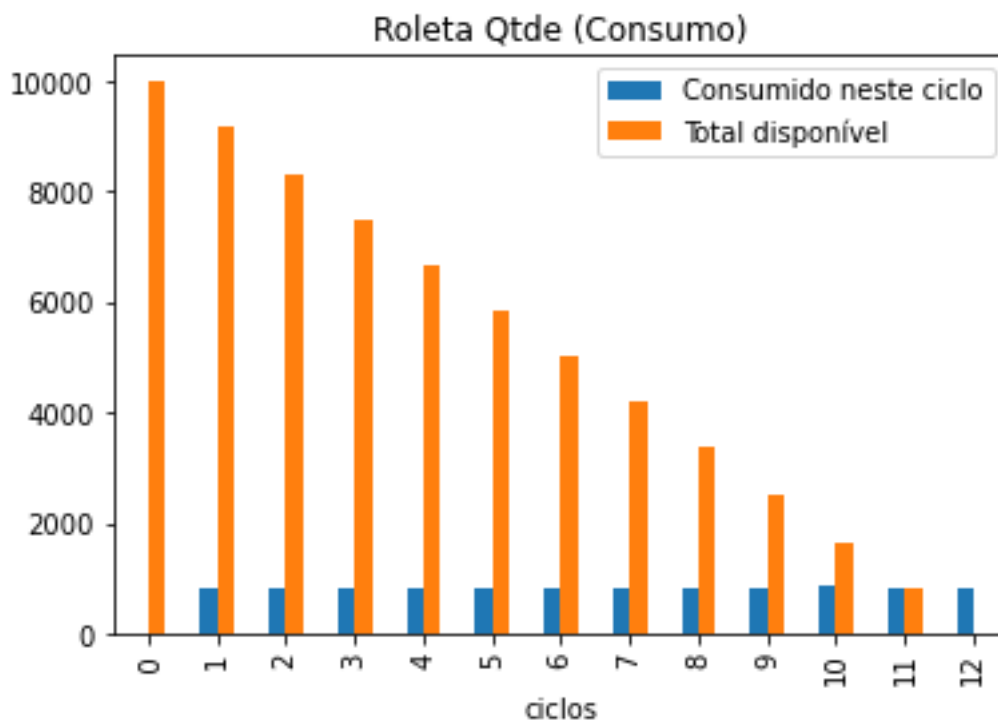
Tabela 20 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo calculados na roleta aleatória

Ciclo	AP ₁	AP ₂	AP ₃	AP ₄
1	5	5	5	5
2	6	3	6	5
3	5	5	5	5
4	6	4	5	5
5	6	4	5	5
6	6	5	6	3
7	6	5	6	3
8	4	5	6	3
9	4	5	6	5
10	4	6	6	4
11	6	3	8	4
12	4	6	9	3

Fonte: o autor.

Durante a execução deste ciclo 1, algumas ações foram executadas mais que outras,

Figura 45 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta quantidade



Fonte: o autor.

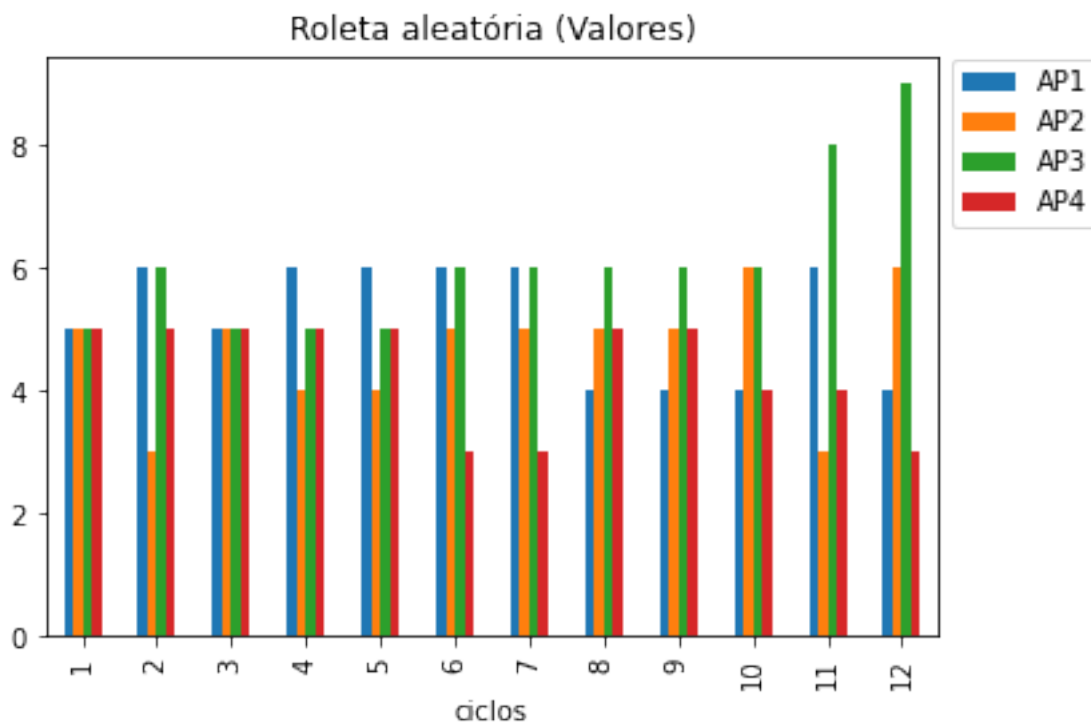
pois a roleta aleatória faz a seleção da ação a ser executada de forma randômica. A figura 46 mostra o valor calculado para cada ação em cada ciclo.

A figura 47 exhibe o consumo de recursos em cada ciclo. O ciclo 0 representa o estado no início da simulação, quando todas as 10.000 unidades do recurso compartilhado estão disponíveis para serem consumidas. É possível perceber que existem recursos disponíveis em todos os ciclos, ou seja, os recursos não são exauridos antes do último ciclo ser executado.

A figura exhibe o percentual executado de cada ação positiva em cada 1 dos 12 ciclos. Não é possível identificar uma priorização de nenhuma AP no decorrer da simulação. Isso é corroborado pelos resultados obtidos no cálculo da tabela qui-quadrado calculada para as APs nos ciclos (tabela 21). É possível perceber que no 12º ciclo a AP₄ foi mais executada que as demais APs, contudo isso ocorreu em consequência de uma compensação devido ao término das unidades da AP₃.

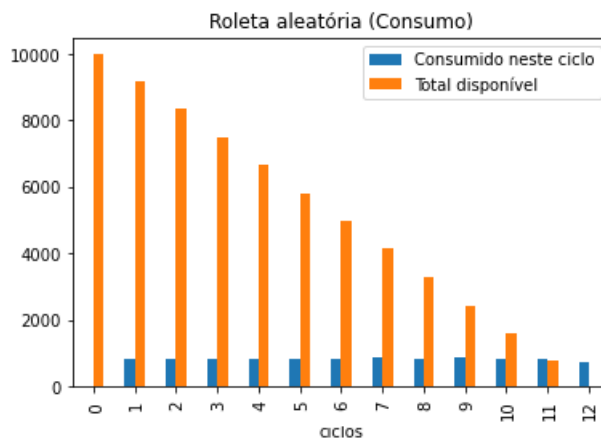
Da mesma forma como na roleta de quantidade, o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada, de modo que os recursos compartilhados não terminem antes da execução de todos os ciclos, mostra como a figura 49. Isto ocorre devido os valores calculados para cada ação durante os ciclos levarem em consideração a quantidade ainda disponível de recursos compartilhados e de ações positivas. No ciclo 0, ou seja antes de iniciar a simulação,

Figura 46 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta aleatória



Fonte: o autor.

Figura 47 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta aleatória



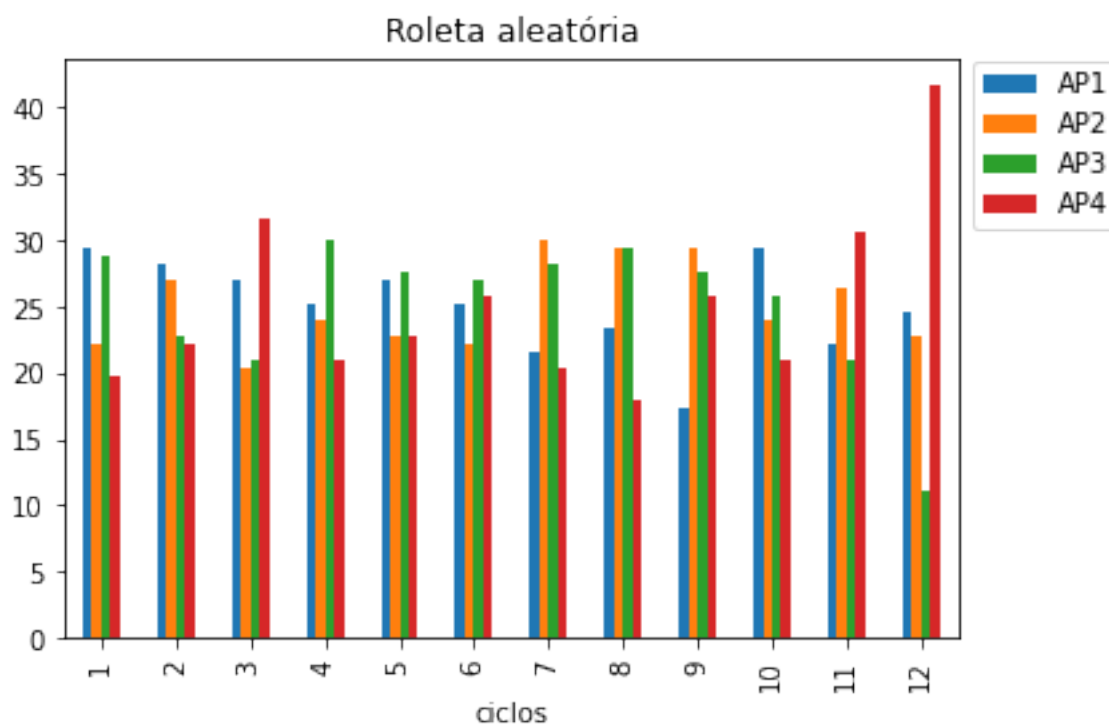
Fonte: o autor.

as 10.000 unidades de recurso compartilhado estão disponíveis e é no 12^o ciclo que ocorre o consumo das últimas unidades disponíveis.

A.3 CENÁRIO C1: ROLETA PRIORIDADE

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 50. No ciclo 1, o valor para cada ação calculado foi 5, isto ocorreu pelo

Figura 48 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta aleatória



Fonte: o autor.

Tabela 21 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo calculados na roleta aleatória

C1	Qui-quadrado
1	2,735
2	1,072
3	3,481
4	1,674
5	0,813
6	0,498
7	2,707
8	3,596
9	3,366
10	1,473
11	2,276
12	19,191

Fonte: o autor.

fato de inicialmente, neste cenário, todas as ações terem exatamente a mesma configuração (500 unidades disponíveis e prioridade de 25%).

Na figura 51 é possível ver o percentual executado de cada ação positiva em cada um dos 12 ciclos. Não é possível identificar uma priorização de nenhuma AP no decorrer da simulação. Isso é corroborado pelos resultados obtidos no cálculo da tabela qui-quadrado calculada para as APs nos ciclos (tabela 22). No 12º ciclo, por ser o último, ocorre uma variação maior pois a AP₁ possuía menos unidades restantes a serem executadas.

Figura 49 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta aleatória

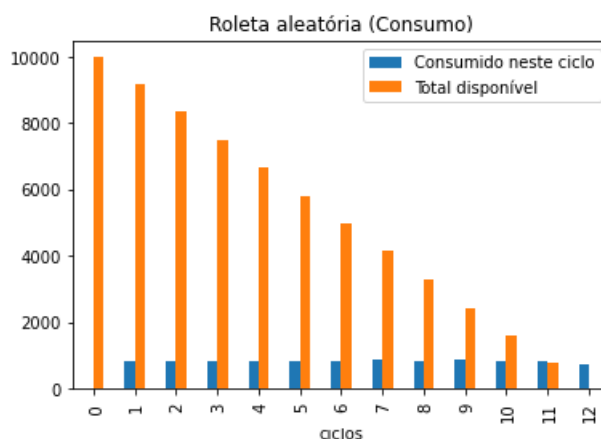
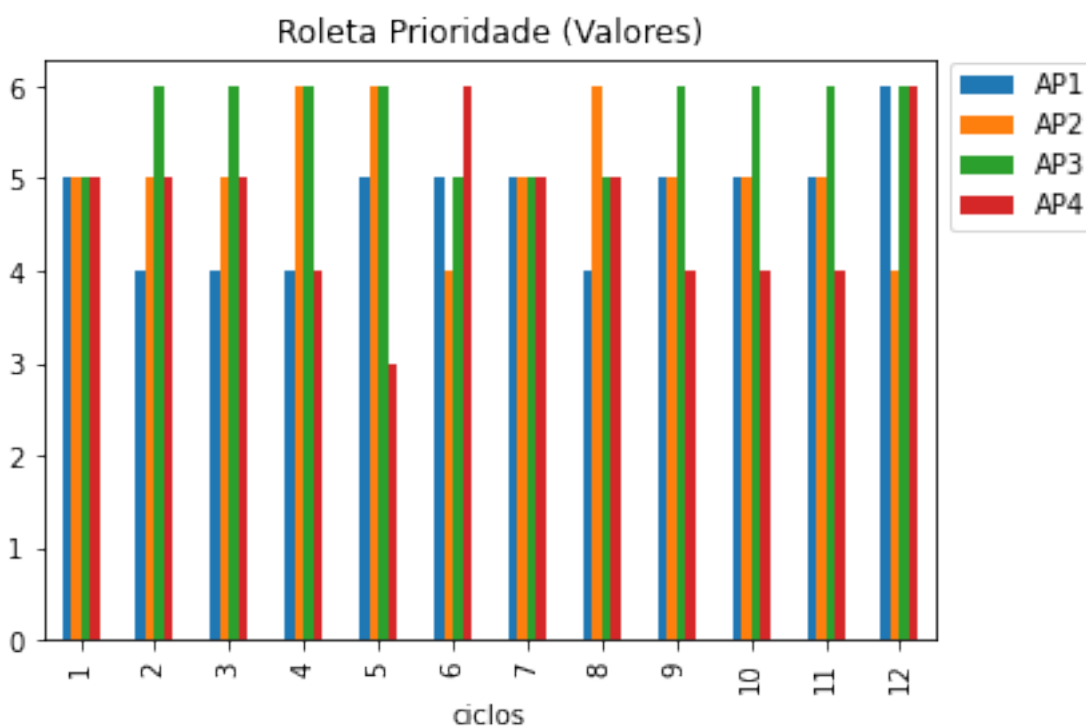


Figura 50 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta prioridade



Da mesma forma como já demonstrado com outras roletas, a figura 52 mostra como o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada, de modo que os recursos compartilhados não terminem antes da execução de todos os ciclos. Isto ocorre devido os valores calculados para cada ação durante os ciclos levarem em consideração a quantidade ainda disponível de recursos compartilhados e de ações positivas. No ciclo 0, ou seja antes de iniciar a simulação, as 10.000 unidades de recurso compartilhado estão disponíveis e é no 12o ciclo que ocorre o consumo das últimas unidades disponíveis.

Figura 51 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta prioridade

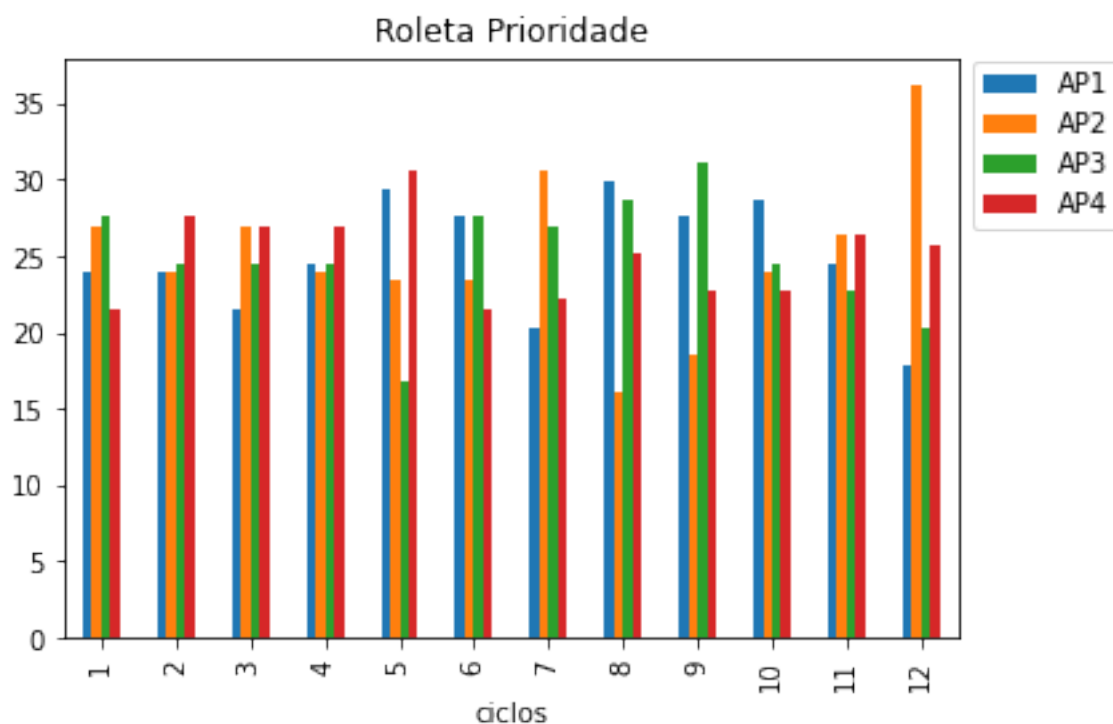


Tabela 22 – Cenário 1: (roleta prioridade): qui-quadrado

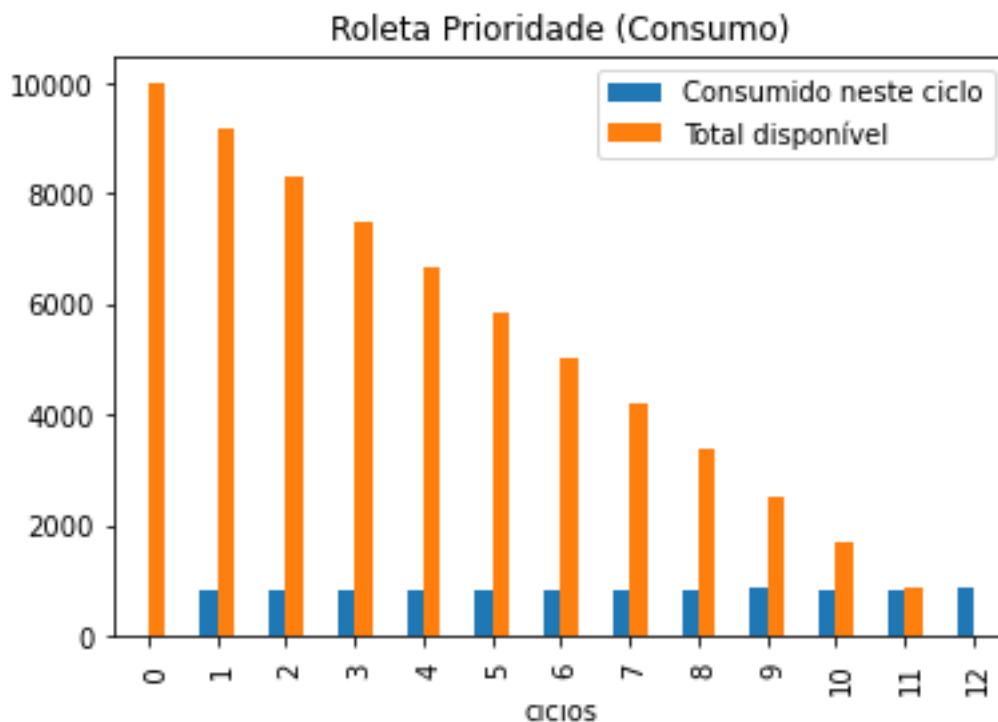
Ciclo	Qui-quadrado
1	0,92
2	0,35
3	0,78
4	0,21
5	4,80
6	1,10
7	2,56
8	4,65
9	3,62
10	0,81
11	0,35
12	8,02

Fonte: o autor.

A.4 CENÁRIO C1: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS

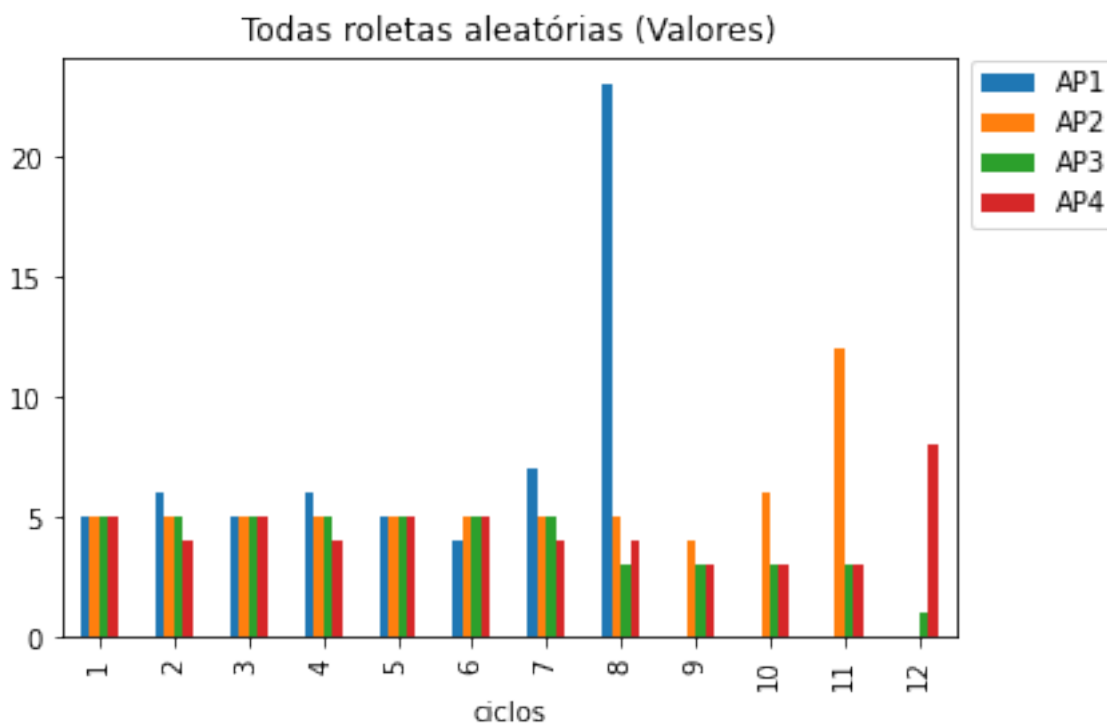
Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 53. No ciclo 1, o valor para cada ação calculado foi 5, isto ocorreu pelo fato de inicialmente, neste cenário, todas as ações terem exatamente a mesma configuração (500 unidades disponíveis e prioridade de 25%). É interessante perceber que, no ciclo 8, a AP₁ teve um valor bem maior que as demais, pois o seu consumo estava sendo maior em todos ciclos anteriores. Quando os valores para o ciclo 8 foram calculados, havia poucas unidades disponíveis

Figura 52 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta prioridade



do AP₁, o que fez o seu valor aumentar.

Figura 53 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias



Na figura 54 é possível ver o percentual executado de cada ação positiva em cada um dos 12 ciclos. É possível perceber claramente que a AP₁ foi priorizada por ter um melhor custo-

benefício enquanto haviam unidades a serem executadas desta ação positiva. Isso é corroborado pelos resultados obtidos no cálculo da tabela qui-quadrado calculada para as APs nos ciclos (tabela 23). Dos 12 ciclos, 6 tiveram o qui-quadrado acima de 16,27 (99,9%), 2 ciclos tiveram o qui-quadrado acima de 11,34 (99%) e 4 ciclos tiveram o qui-quadrado acima de 7,82 (95%).

Figura 54 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias

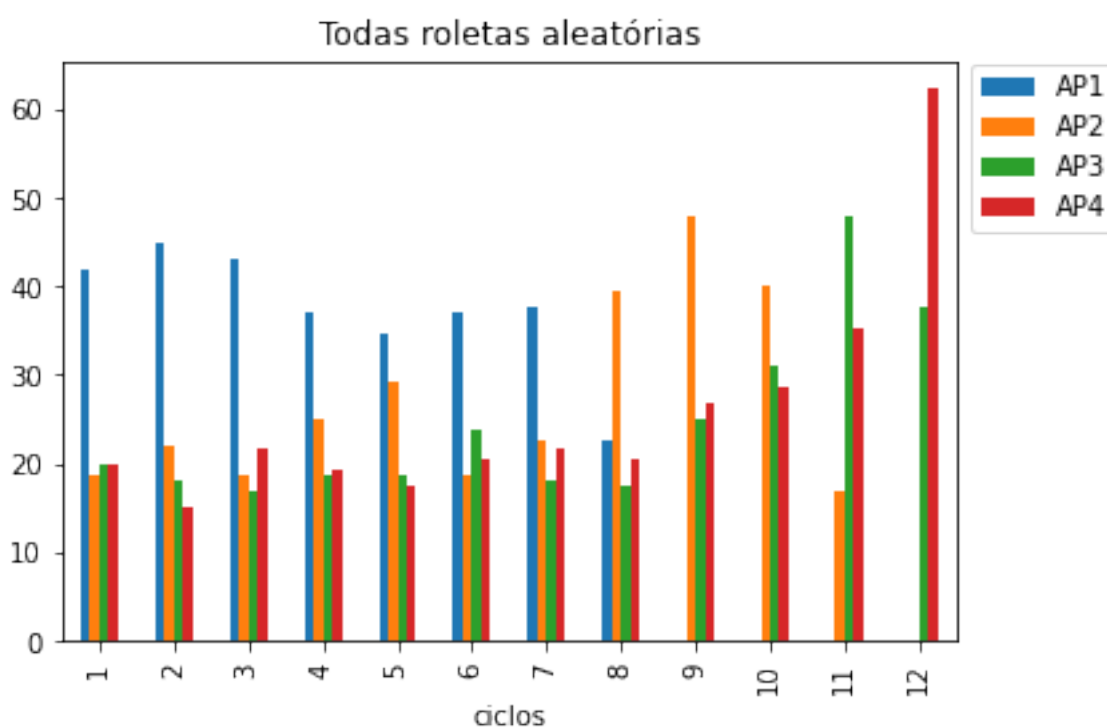


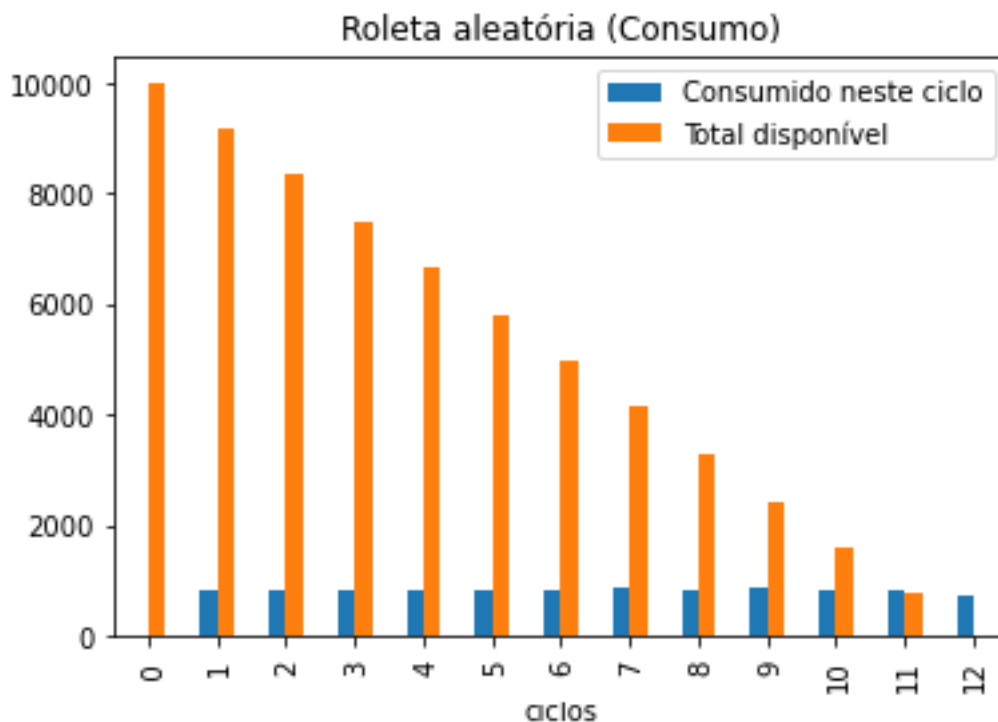
Tabela 23 – Cenário 1: (roleta Todas Aleatórias): qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	15,29
2	22,18
3	17,96
4	8,90
5	8,53
6	8,44
7	9,13
8	11,82
9	46,13
10	36,21
11	52,96
12	112,27

Fonte: o autor.

A figura 54 mostra que o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada. Mesmo tendo ocorrido priorização de uma ação positiva e as suas unidades terem finalizado antes do término da simulação, isso não fez com que o consumo dos recursos compartilhados fosse afetado antes da finalização do último ciclo.

Figura 55 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias



A.5 CENÁRIO C1: ROLETA VALOR

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 56. No ciclo 1, o valor para cada ação calculado foi 5, isto ocorreu pelo fato de inicialmente, neste cenário, todas as ações terem exatamente a mesma configuração (500 unidades disponíveis e prioridade de 25%).

Na figura 57 é possível ver o percentual executado de cada ação positiva em cada um dos 12 ciclos. Não é possível identificar uma priorização de nenhuma AP no decorrer da simulação.

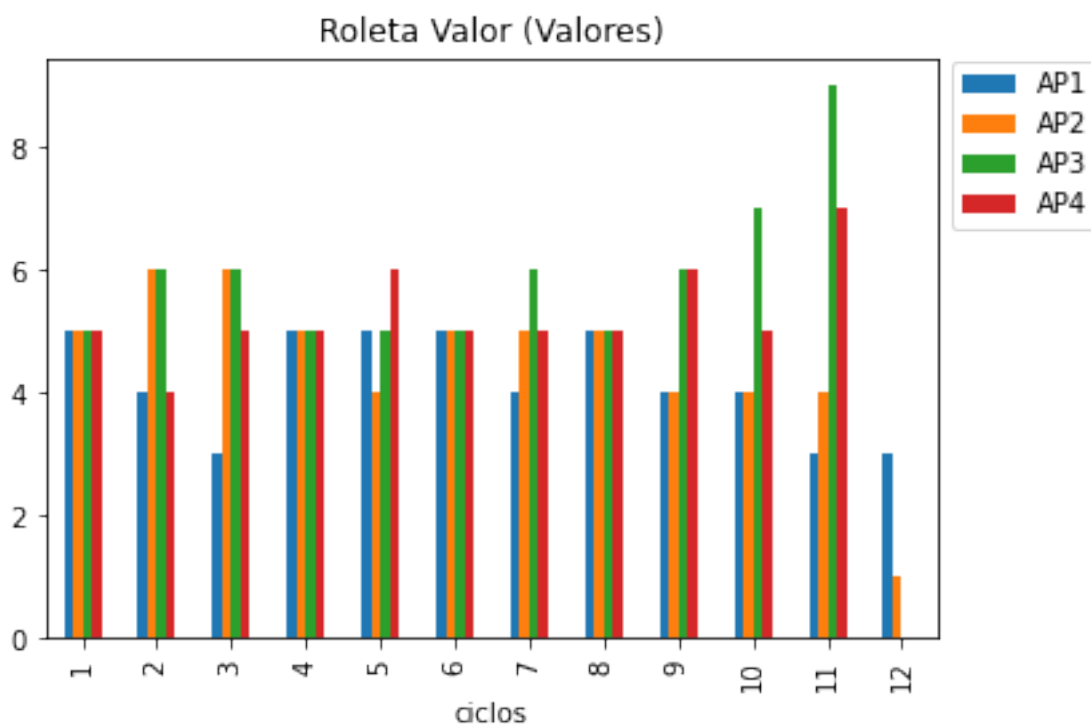
A figura 58 mostra que, também nesta simulação, o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada.

A.6 CENÁRIO C1: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 59. No ciclo 1, o valor para cada ação calculado foi 5, isto ocorreu pelo fato de inicialmente, neste cenário, todas as ações terem exatamente a mesma configuração (500 unidades disponíveis e prioridade de 25%).

A roleta custo-benefício é a única que utiliza a informação *Custo* definida na tabela ??.

Figura 56 – Cenário 1: valores das APs em cada ciclo na roleta valor



Foi definido que os custos para a AP₁, AP₂, AP₃ e AP₄ são: 1,3, 2, 5 e 10, respectivamente. Por isso, a ação AP₁ é consumida enquanto houver unidades disponíveis. O seu custo-benefício é o maior dentre todas as ações. O detalhamento do cálculo do custo-benefício para o 1º ciclo é demonstrado na tabela 24.

Tabela 24 – Cálculo do custo-benefício no ciclo 1 (roleta Custo-Benefício)

Ação Positiva	Valor	Custo	Custo-Benefício (valor / custo)
AP ₁	5	1,3	2,84
AP ₂	5	2	2,5
AP ₃	5	5	1
AP ₄	5	10	0,5

Fonte: o autor.

A roleta custo-benefício sempre consome a ação positiva com o melhor custo-benefício. Isto fica evidente na figura 60. A tabela 25 que mostra o valor qui-quadrado de cada ciclo, comprova a priorização ocorrida.

A figura 61 mostra como o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada, de modo que os recursos compartilhados não terminem antes da execução de todos os ciclos. Isto ocorre devido os valores calculados para cada ação durante os ciclos levarem em consideração a quantidade ainda disponível de recursos compartilhados e de ações positivas. Percebe-se que nos ciclos 6, 7 e 8 houve um consumo maior de recursos, pois o valor calculado

Figura 57 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor

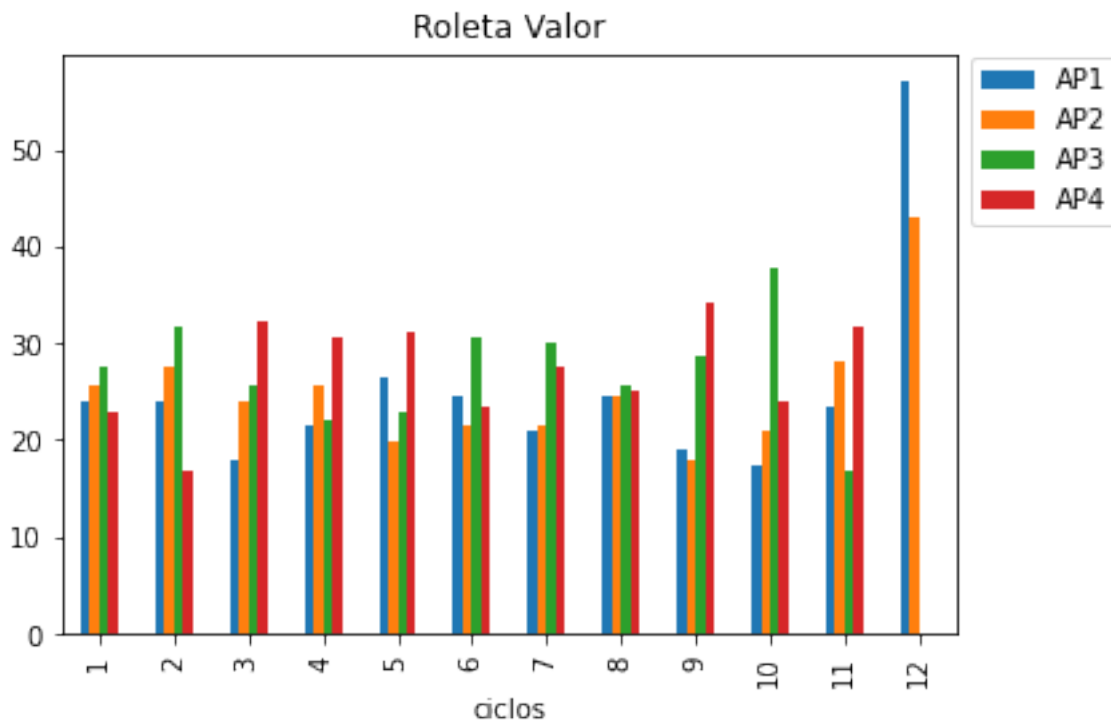
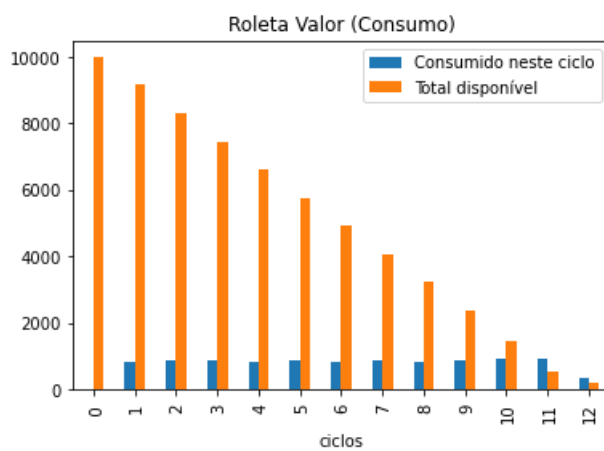


Figura 58 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta Valor



pelos TLBO nestes ciclos foi maior, mesmo assim o consumo manteve-se controlado. No ciclo 0, ou seja antes de iniciar a simulação, as 10.000 unidades de recurso compartilhado estão disponíveis e é no 12o ciclo que ocorre o consumo das últimas unidades disponíveis.

Figura 59 – Cenário 1: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício

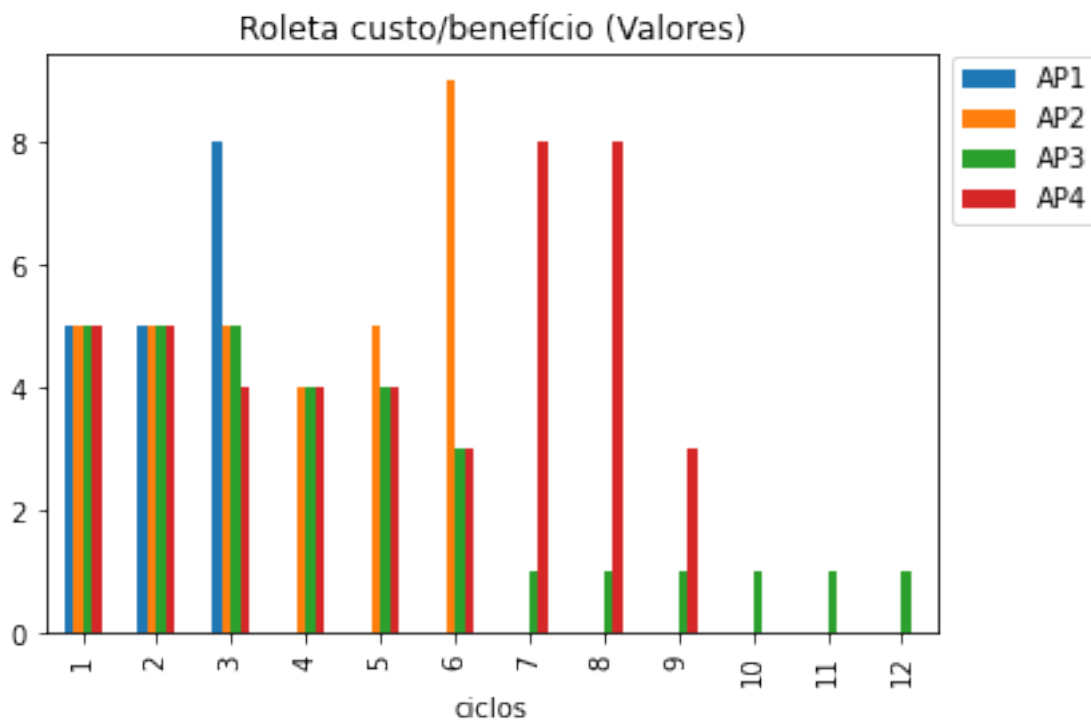


Tabela 25 – Cenário 1: (roleta Custo-Benefício) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	300
2	300
3	295
4	300
5	300
6	290
7	300
8	300
9	295
10	300
11	300
12	300

Fonte: o autor.

Figura 60 – Cenário 1: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício

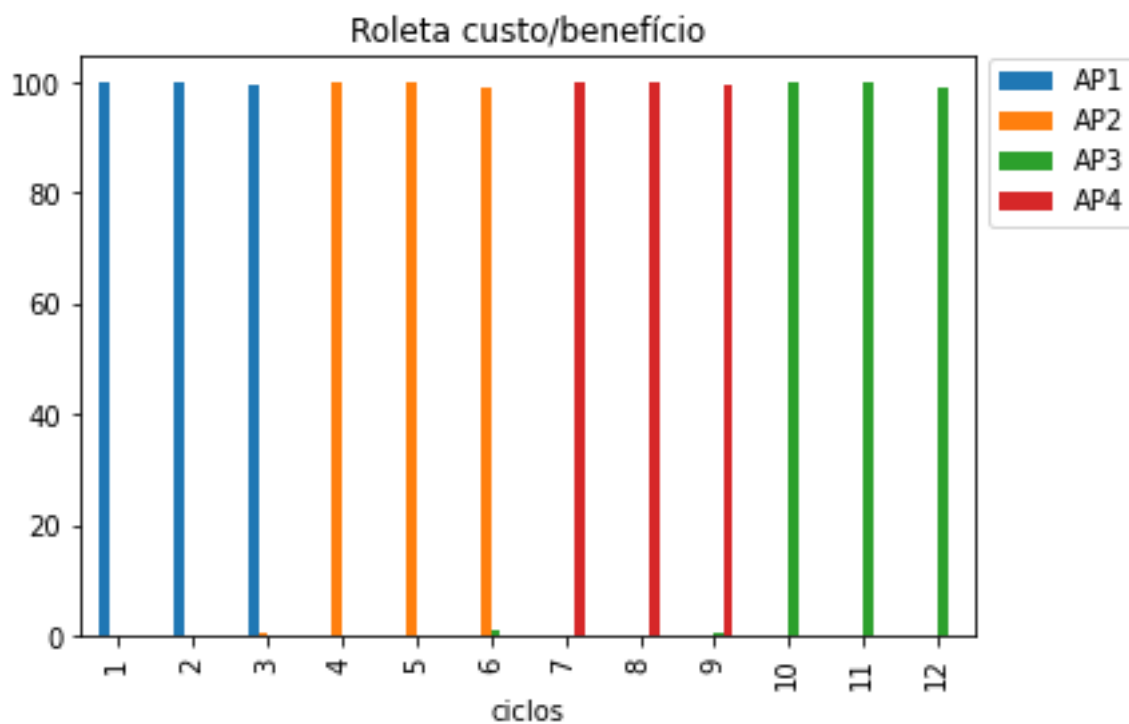
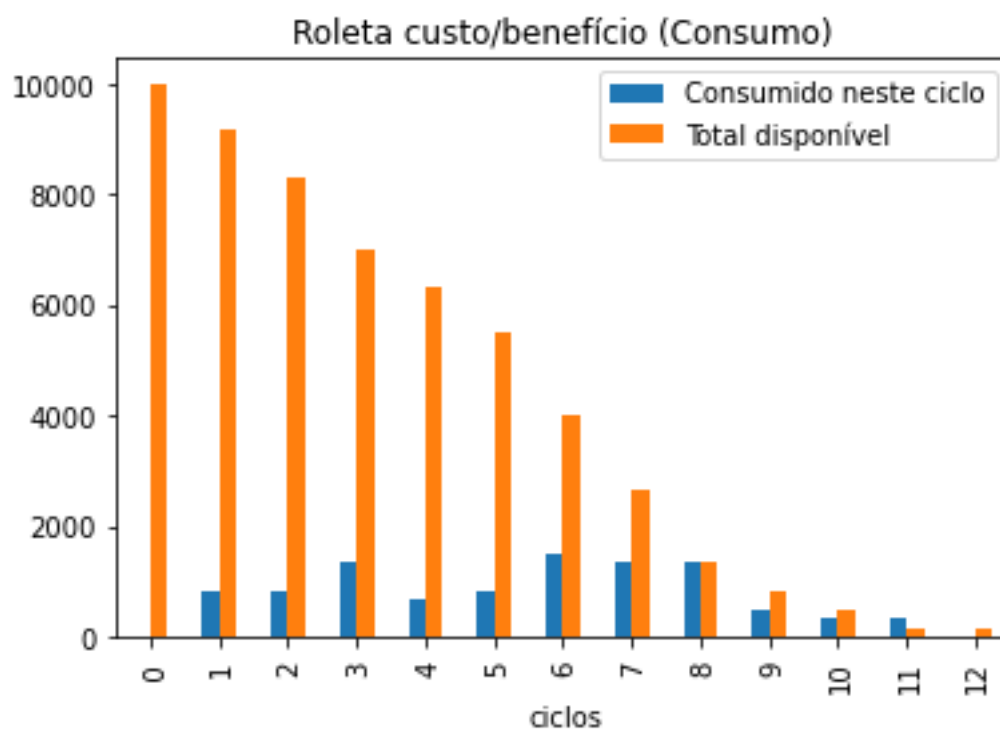


Figura 61 – Cenário 1: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício



APÊNDICE B – CENÁRIO C2

Este cenário foi executado com a configuração descrita na tabela 26.

Tabela 26 – Configuração do cenário 2

	AP ₁	AP ₂	AP ₃	AP ₄
Quantidade	1500	200	150	150
Prioridade (%)	25	25	25	25
Custo	1.3	2	5	10

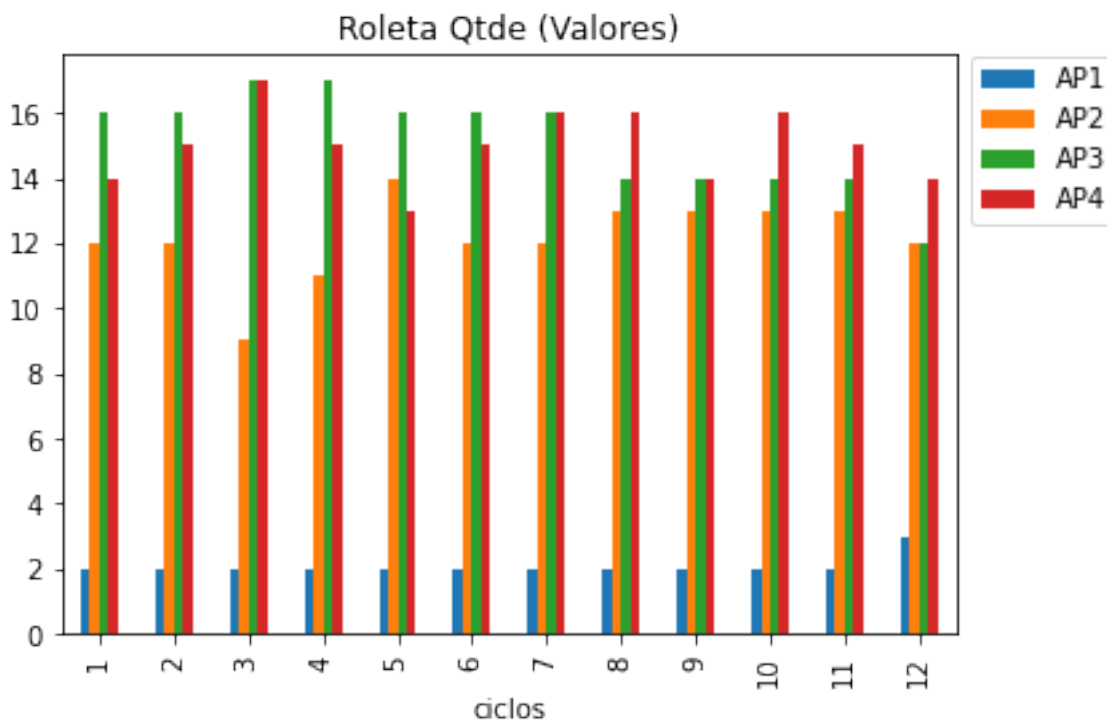
Fonte: o autor.

Neste cenário a 1ª ação possui uma quantidade disponível sensivelmente maior do que as outras ações. Como a sua oferta é muito maior, o valor por cada execução desta ação deve ser bem menor que as demais ações. Este é o comportamento percebido nas simulações deste cenário apresentadas a seguir.

B.1 CENÁRIO C2: ROLETA QUANTIDADE

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 62.

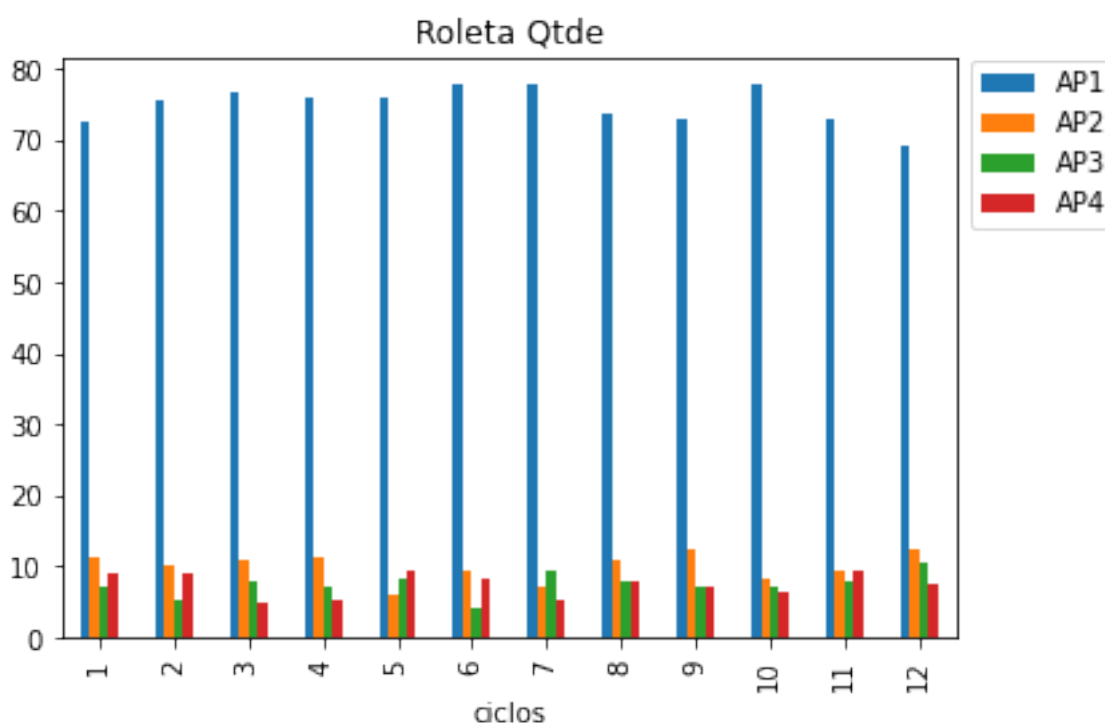
Figura 62 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta quantidade



Fonte: o autor.

Na figura 63 é possível ver o percentual executado de cada ação positiva em cada um dos 12 ciclos. Como a roleta quantidade prioriza as ações que possuem mais quantidade disponível, é possível perceber que todas as ações são executadas em cada ciclo, mas mantendo a proporcionalidade de ações executadas com a sua oferta. A tabela 27, com os valores qui-quadrado de cada ciclo deixa isso claro, mostrando que existe uma probabilidade de 99,9% (valores do qui-quadrado maiores que 16,27) de as ações executadas terem alguma priorização. Mesmo com todas as ações tendo uma prioridade de 25%, a priorização ocorreu pela discrepância da oferta de ações.

Figura 63 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta quantidade



Fonte: o autor.

A figura 64 mostra que, também neste cenário, o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada, independentemente que exista uma ação com uma oferta muito maior que as demais.

B.2 CENÁRIO C2: ROLETA ALEATÓRIA

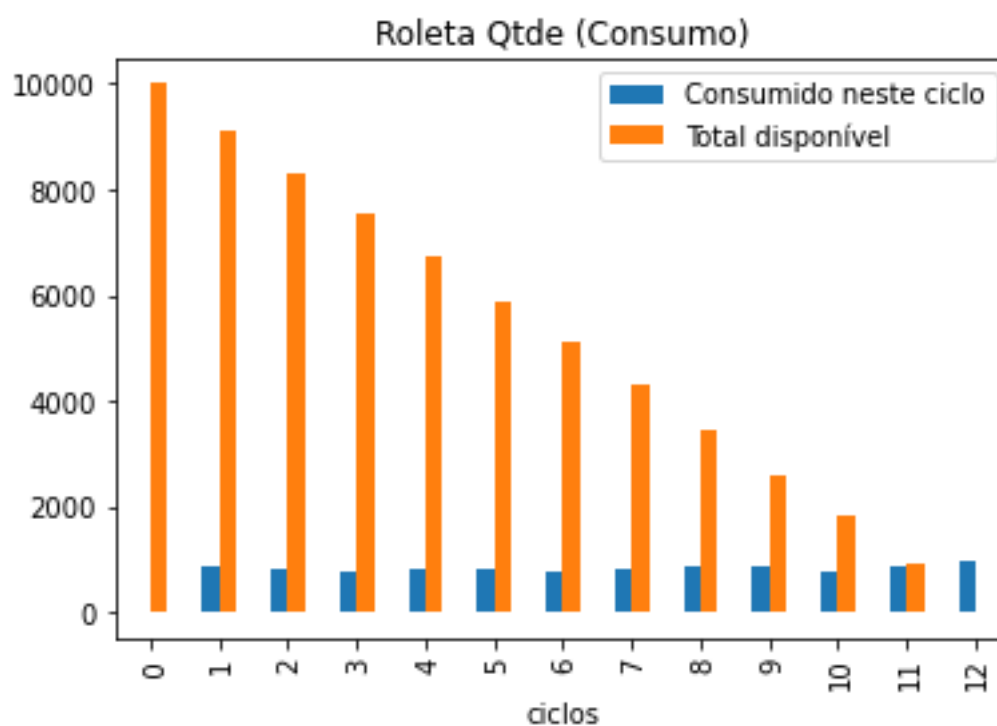
Na figura 65 estão os valores calculados para as ações em cada ciclo. Como a AP₁ possui muito mais unidades que as demais, o seu valor é menor. Visto que o consumo nessa roleta de cada ação tende a ser a muito parecido, as unidades das ações 2, e 4 por terem uma

Tabela 27 – Cenário 2: (roleta Quantidade) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	120,45
2	136,23
3	142,97
4	139,73
5	139,24
6	149,57
7	149,28
8	126,48
9	123,93
10	149,00
11	123,24
12	104,62

Fonte: o autor.

Figura 64 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta quantidade



oferta menor terminam bem antes (ciclo 5). Esse fenômeno pode ser visualizado na figura 66.

A tabela ?? mostra que enquanto havia unidades suficientes para serem executadas (até o ciclo 4), não houve nenhuma ação sendo executada com mais frequência que outra. Isto ocorreu a partir do ciclo 5 em virtude de ter sido consumido todas as unidades disponíveis das ações 2, 3 e 4.

A figura 67 mostra que mesmo tendo sido consumido proporcionalmente mais recursos nos primeiros ciclos, os recursos compartilhados não terminaram antes do fim dos ciclos. Como

Figura 65 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta aleatória

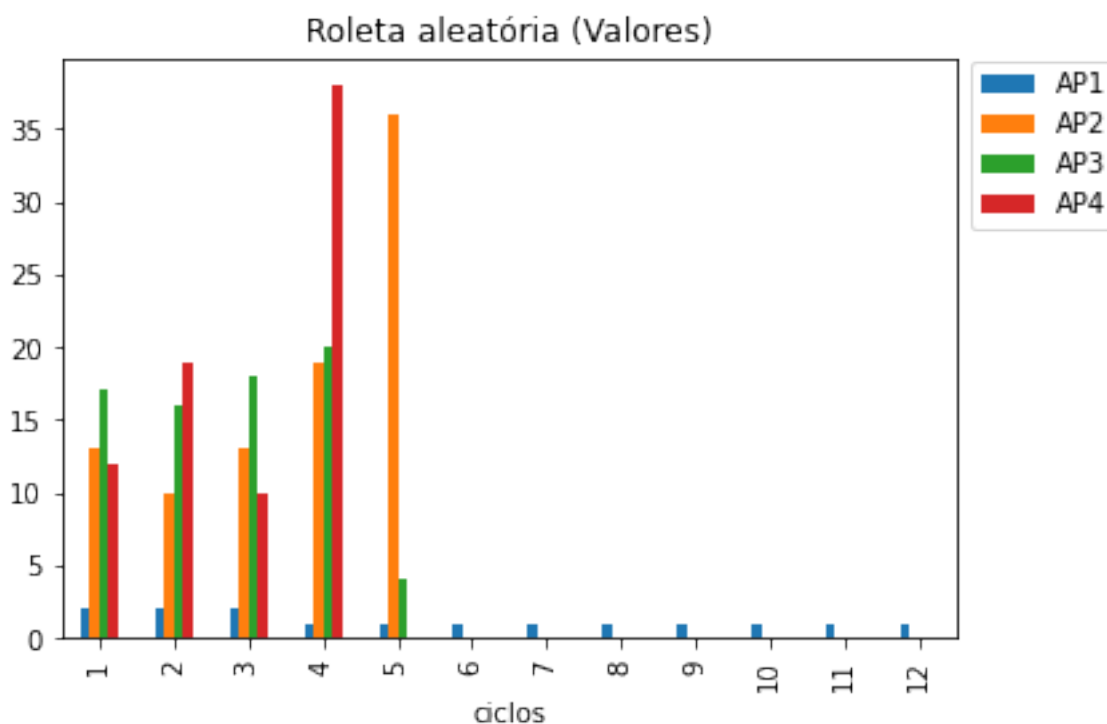


Tabela 28 – Cenário 2: (roleta aleatória) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	1,90
2	1,30
3	0,67
4	4,08
5	225,13
6	300
7	300
8	300
9	300
10	300
11	300
12	300

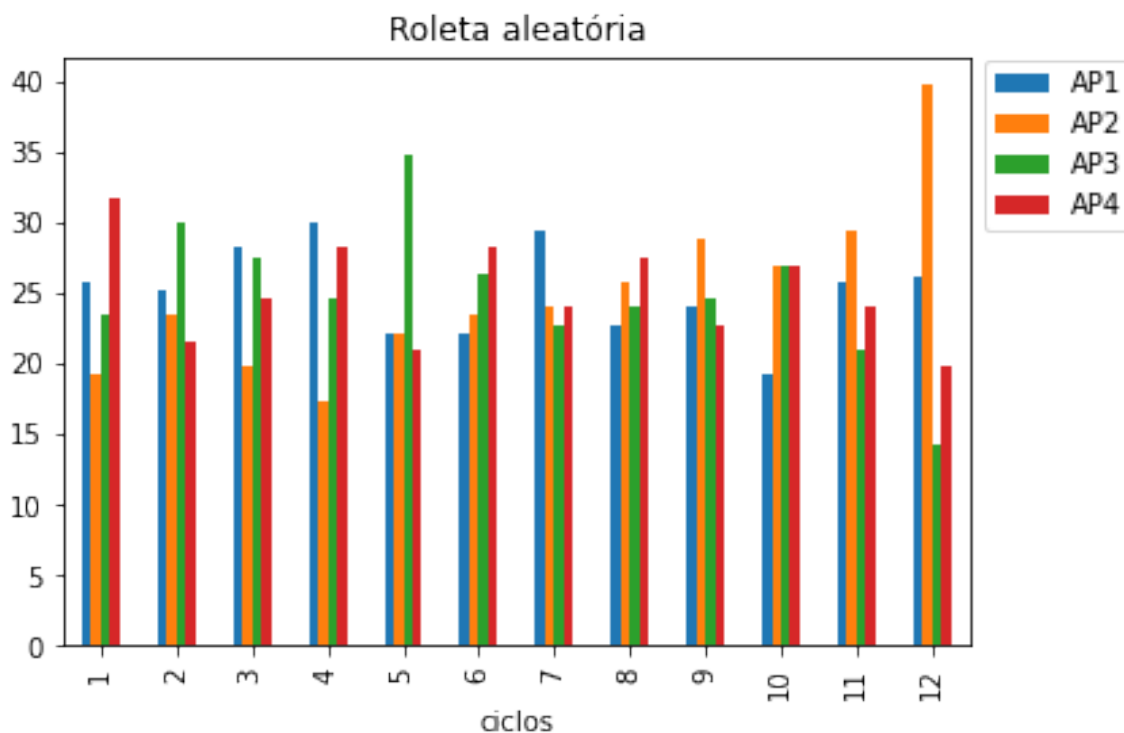
Fonte: o autor.

cada ciclo é executado com a mesma quantidade de ações, os primeiros ciclos tiveram um valor maior por ação, fazendo com que mais recursos fossem consumidos em cada ciclo.

B.3 CENÁRIO 2: ROLETA PRIORIDADE

Como no cenário 2, todas as ações possuem a mesma prioridade, o comportamento desta simulação é muito parecido com a roleta Aleatória. No ciclo 5, haviam poucas unidades disponíveis de AP₂, por isso o seu valor foi sensivelmente maior que o da AP₁, que tinha uma oferta maior (figura 68). As unidades de AP₃ e AP₄ já haviam encerrado no ciclo 4 (figura 69).

Figura 66 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta aleatória



A tabela 29 com os valores calculados de qui-quadrado para cada ciclo mostra que enquanto havia unidades disponíveis de cada ação (ciclo 4) não houve nenhuma priorização de ação (valores abaixo de 7,82).

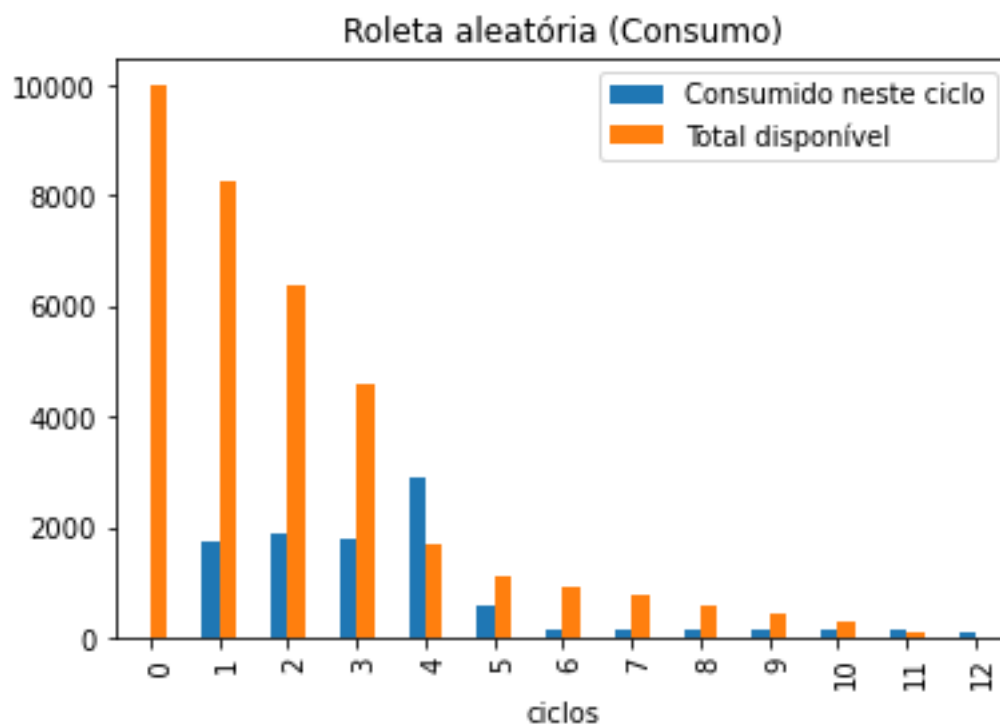
Tabela 29 – Cenário 2: (roleta Prioridade) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	1,50
2	0,72
3	2,87
4	4,42
5	290,53
6	300
7	300
8	300
9	300
10	300
11	300
12	300

Fonte: o autor.

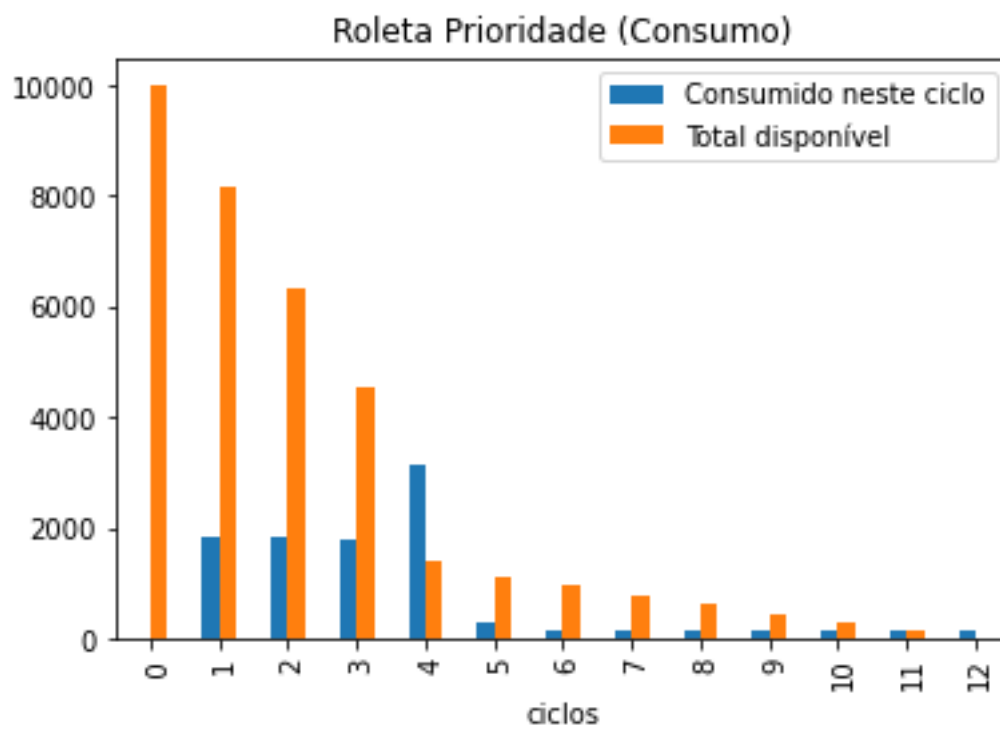
É esperado que o comportamento do consumo do recurso compartilhado na roleta Prioridade ocorra muito parecida com o que ocorreu com a roleta aleatória, por todas as ações possuírem a mesma prioridade. Isto pode ser visto na figura 70.

Figura 67 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta aleatória



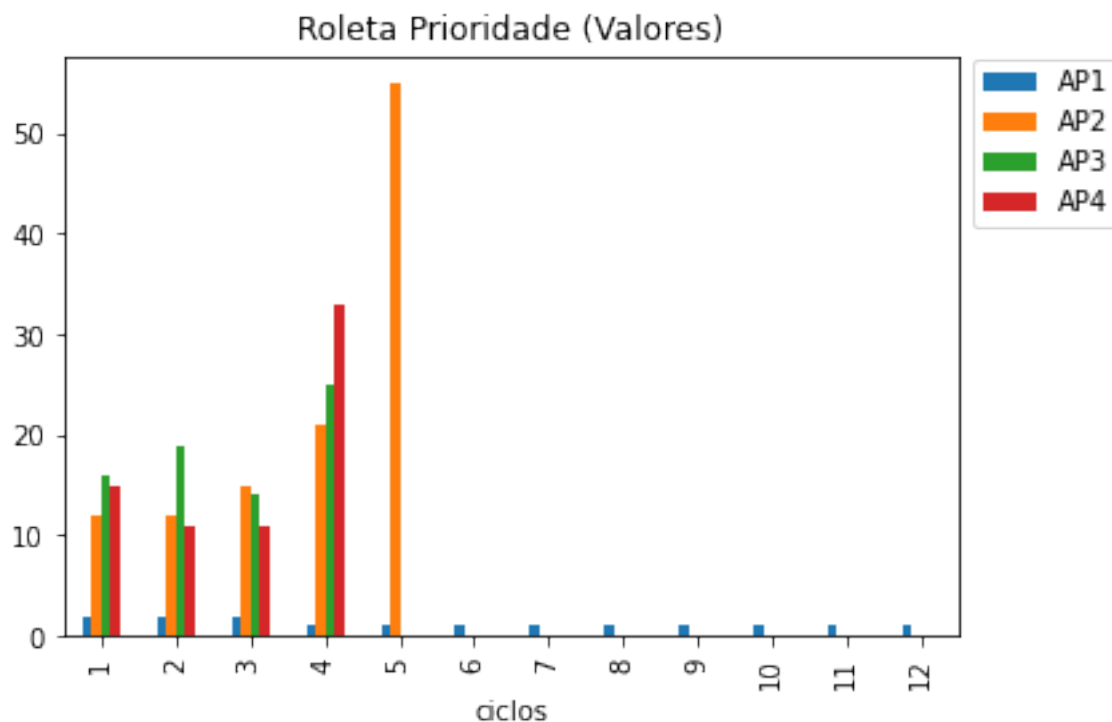
Fonte: o autor.

Figura 70 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

Figura 68 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade

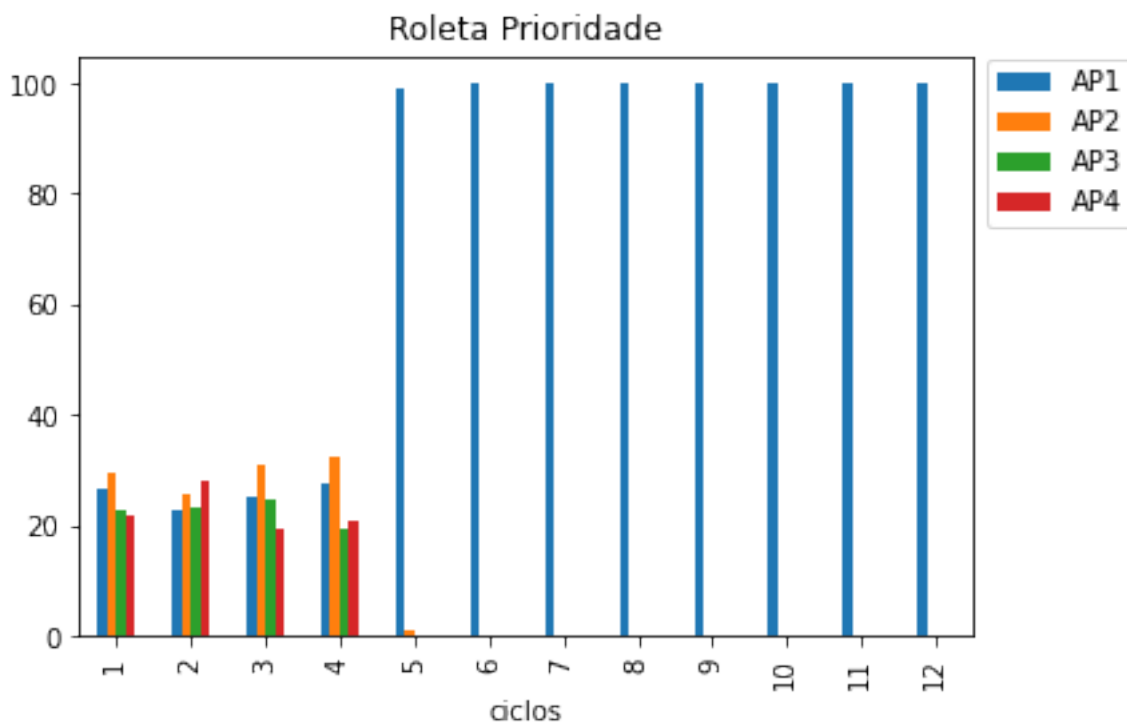


Fonte: o autor.

B.4 CENÁRIO C2: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS

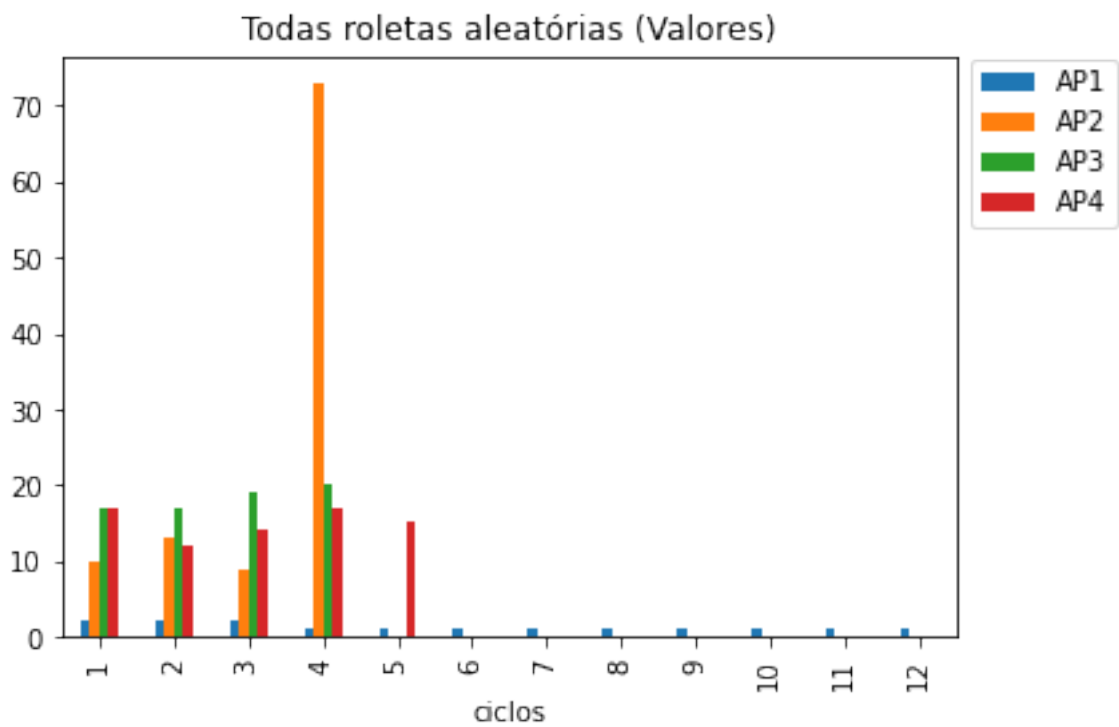
Como nas demais simulações do cenário C2, a disparidade da oferta de unidade entre a AP_1 e as demais faz com que só esta ação seja executada em grande parte dos ciclos (figura 71). Porém, da mesma forma que ocorreu no cenário C1, nesta roleta já é possível perceber uma priorização de ações mesmo enquanto todas as APs estejam sendo executadas (figura 72). Isto é comprovado pela tabela 30 com os valores qui-quadrado de cada ciclo.

Figura 69 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade



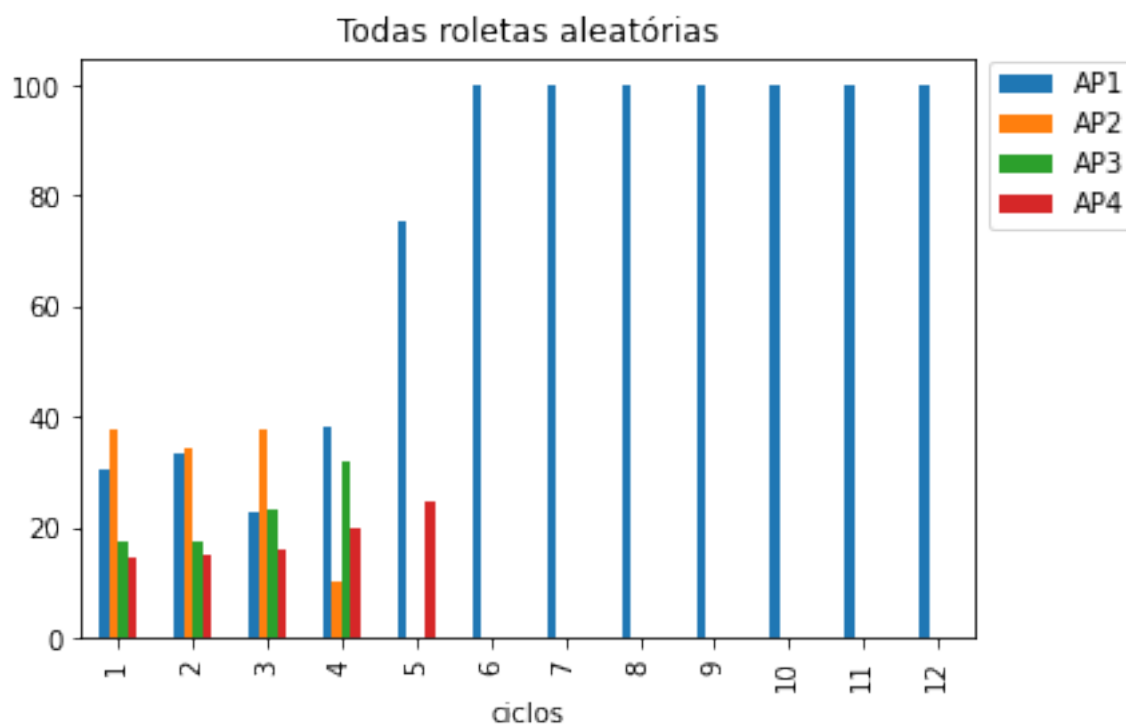
Fonte: o autor.

Figura 71 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

Figura 72 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

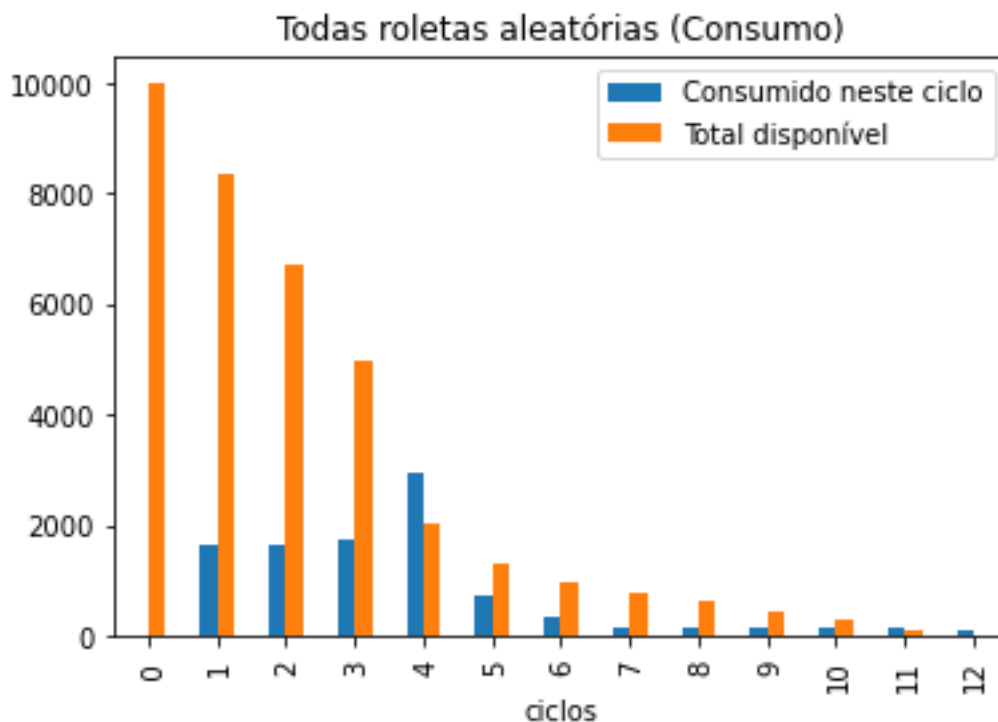
Tabela 30 – Cenário 2: (roleta Todas Aleatórias) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	14,55
2	12,60
3	9,90
4	18,79
5	151,81
6	300
7	300
8	300
9	300
10	300
11	300
12	300

Fonte: o autor.

A figura 73, mostra que, como nas demais simulações já apresentadas do cenário 2, a quantidade dos recursos compartilhados não termina antes da execução dos 12 ciclos.

Figura 73 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

B.5 CENÁRIO C2: ROLETA VALOR

A figura 74 mostra os valores para cada ação calculada pela metaheurística TLBO. A AP_1 , que possui uma maior oferta recebe um valor menor. Como na roleta de valor, são priorizadas as ações com valor mais alto, conseqüentemente a AP_1 é menos executada. Por isso, AP_2 , AP_3 e AP_4 são consumidas de forma ainda mais rápida que nas demais simulações já feitas. A figura 75 mostra que no 3º ciclo as ações 3 e 4 terminaram e no 4º ciclo a ação 2 terminou.

Figura 74 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor

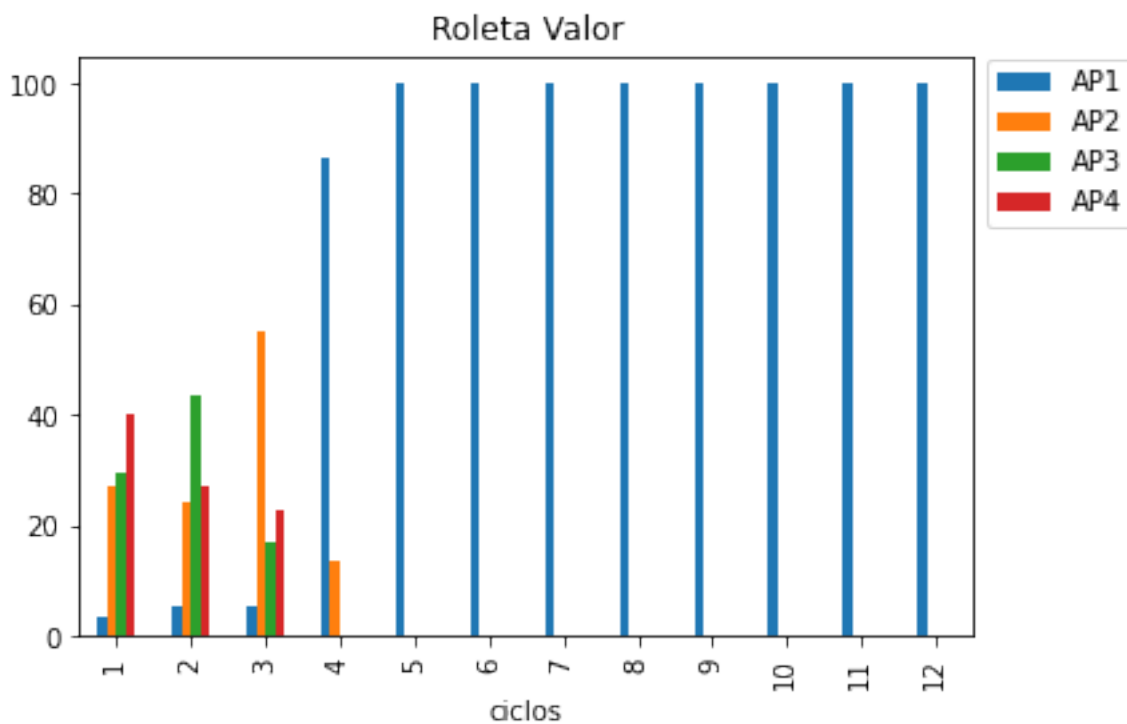
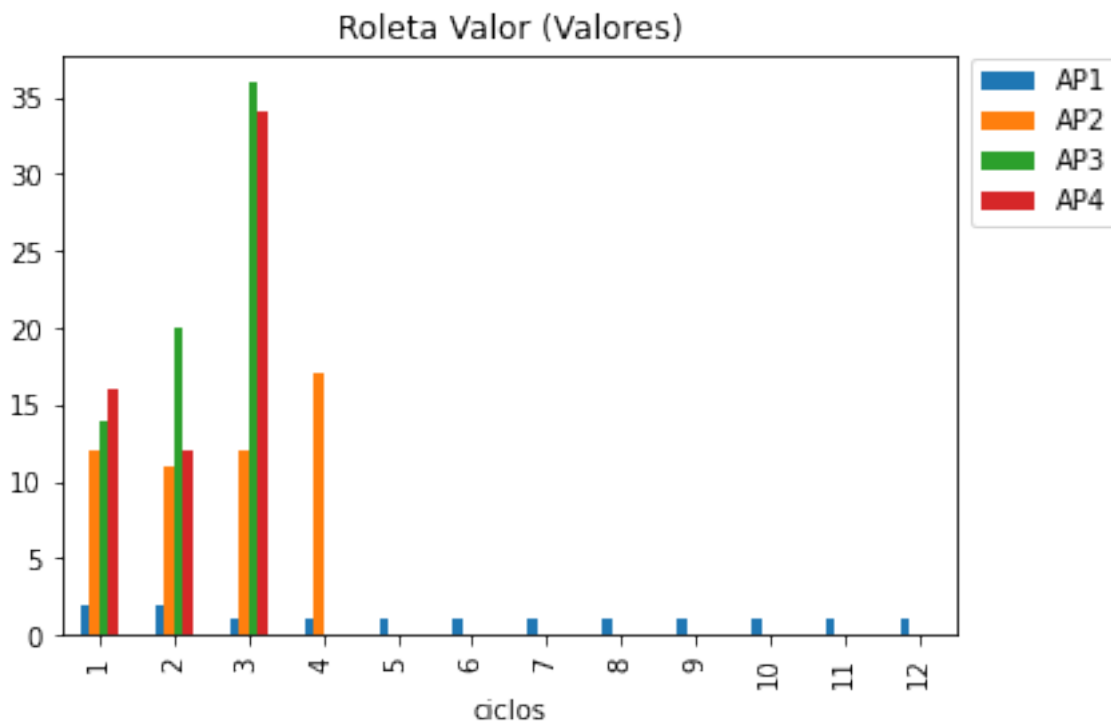


Figura 75 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor



A tabela 31 com os valores calculados de qui-quadrado para cada ciclo mostra que há 99,9% (valores acima de 16,27) de probabilidade de ter havido priorização de ações. Este comportamento é esperado, visto que existem ações com valores diferentes.

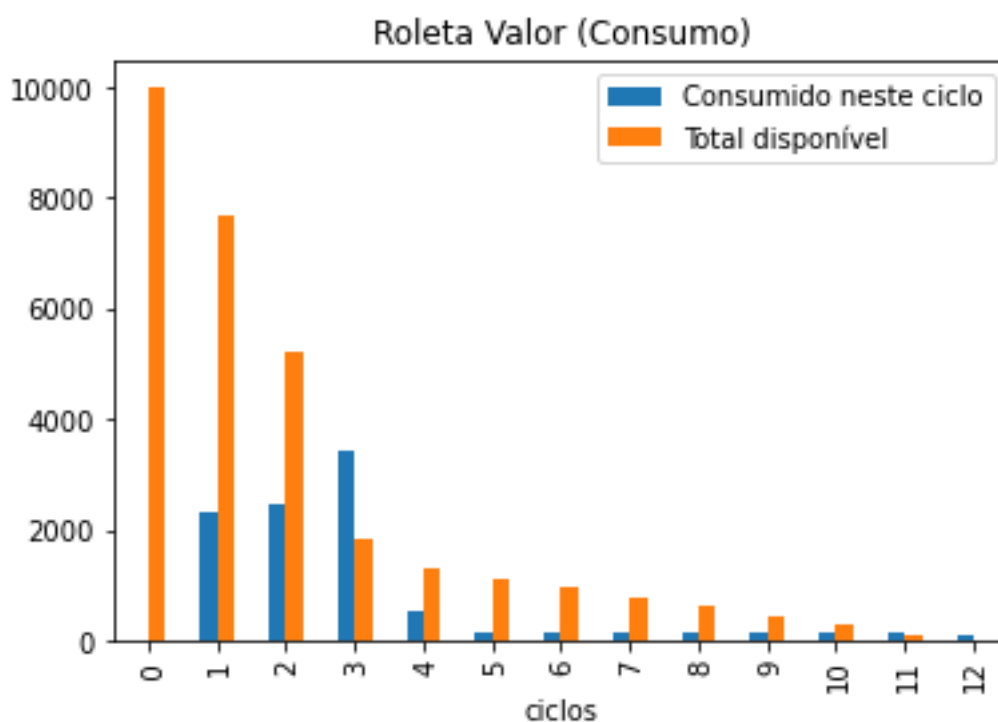
Tabela 31 – Cenário 2: (roleta Valor) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	28,38
2	29,58
3	54,51
4	204,99
5	300
6	300
7	300
8	300
9	300
10	300
11	300
12	300

Fonte: o autor.

Como nas demais simulações do cenário 2, a figura 76 mostra que a quantidade disponível de recursos compartilhados não terminou antes dos 12 ciclos.

Figura 76 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta Valor

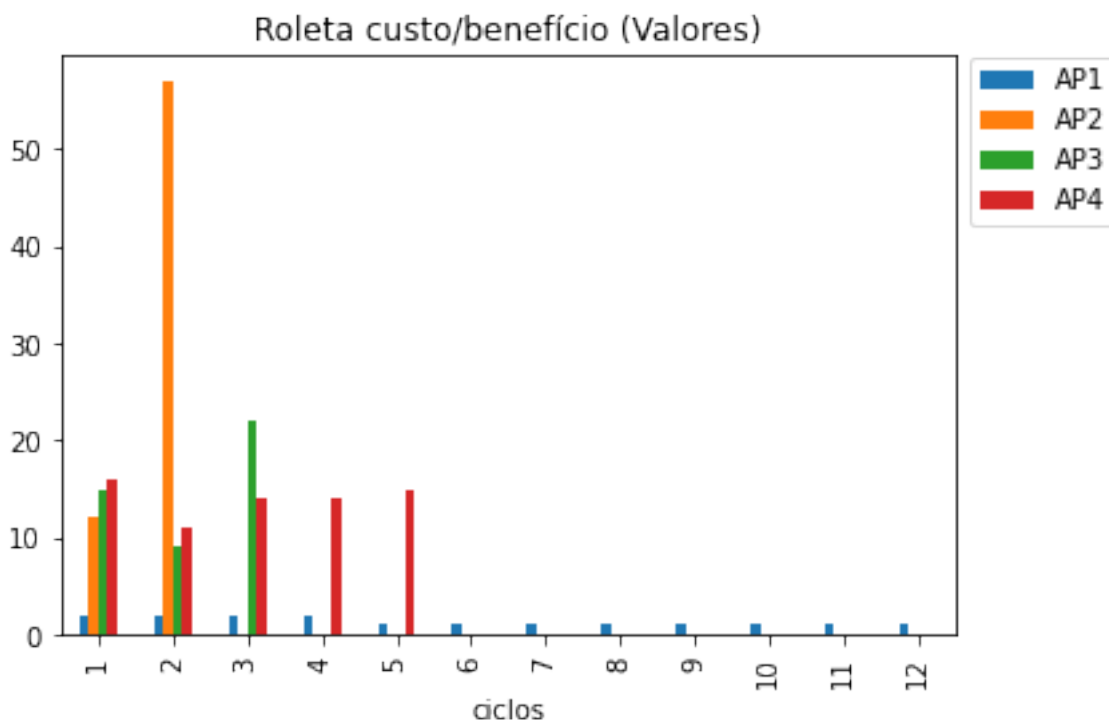


Fonte: o autor.

B.6 CENÁRIO C2: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 77.

Figura 77 – Cenário 2: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício



A roleta custo-benefício é a única que utiliza a informação *Custo* definida na tabela 26. Foi definido que os custos para a AP₁, AP₂, AP₃ e AP₄ são: 1,3, 2, 5 e 10, respectivamente. Por isso, que AP₁ é consumida enquanto houver unidades disponíveis. O seu custo-benefício é o maior dentre todas as ações. O valor calculado do custo-benefício para todas as APs nos ciclos é demonstrado na tabela 32.

É interessante observar que no 1º ciclo, a AP₂ era a de melhor custo-benefício, por isso foi a única ação executada neste ciclo (figura 78). No 2º ciclo, a AP₂ também era a de melhor custo-benefício e todos os seus recursos foram consumidos; após o término da AP₂, a próxima melhor relação custo-benefício, AP₃, começou a ser executada. No 3º ciclo, a AP₃ também era a com melhor custo-benefício, por isso, ela foi executada até o término das suas unidades. O segundo melhor custo-benefício no ciclo 3 era a AP₁. No 4º ciclo, apenas a AP₁ foi executada, por ter o melhor custo-benefício e com unidades disponíveis suficientes para todo o ciclo. No 5º ciclo, o melhor custo-benefício calculado foi da AP₄, todas as suas unidades foram consumidas e

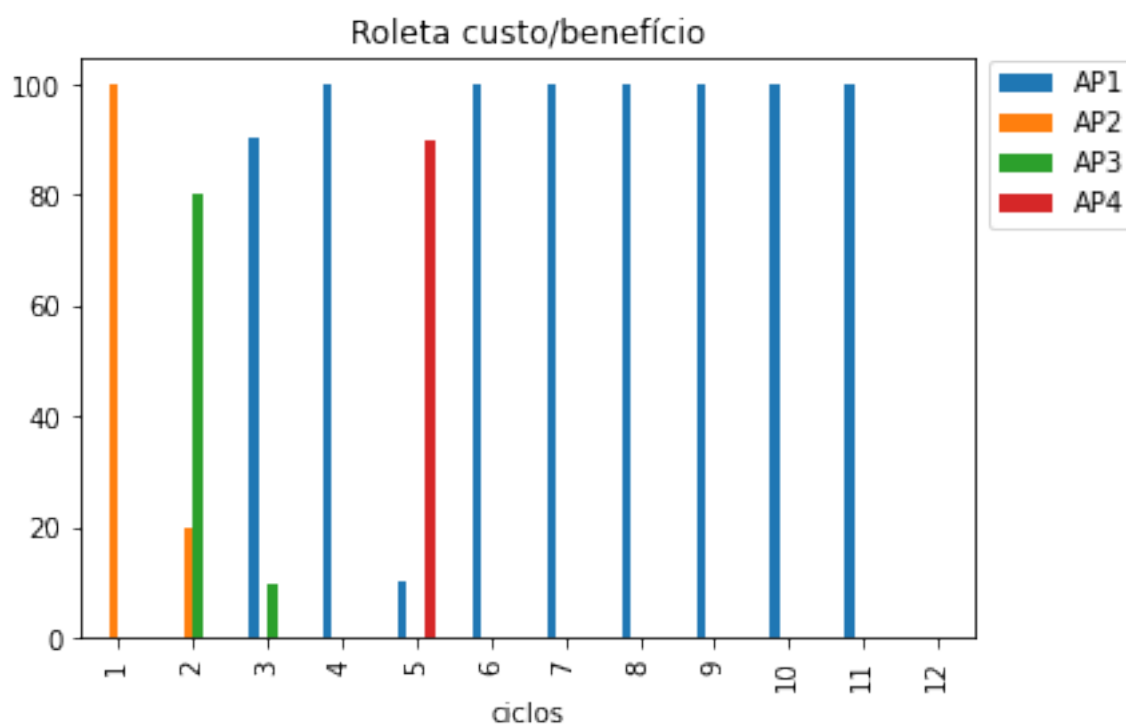
então a única ação restante, AP_1 , continuou a ser executada.

Tabela 32 – Cenário 2: valor do custo/benefício de cada AP em cada ciclo

Ciclo	AP_1	AP_2	AP_3	AP_4
1	$2 / 1,3 = 1,54$	$12 / 2 = 6$	$15 / 5 = 3$	$16 / 10 = 1,6$
2	$2 / 1,3 = 1,54$	$57 / 2 = 28,5$	$9 / 5 = 1,8$	$11 / 10 = 1,1$
3	$2 / 1,3 = 1,54$	$0 / 2 = 0$	$22 / 5 = 4,4$	$14 / 10 = 1,4$
4	$2 / 1,3 = 1,54$	$0 / 2 = 0$	$0 / 5 = 0$	$14 / 10 = 1,4$
5	$1 / 1,3 = 0,76$	$0 / 2 = 0$	$0 / 5 = 0$	$15 / 10 = 1,5$
6	$1 / 1,3 = 0,76$	$0 / 2 = 0$	$0 / 5 = 0$	$0 / 10 = 0$
7	$1 / 1,3 = 0,76$	$0 / 2 = 0$	$0 / 5 = 0$	$0 / 10 = 0$
8	$1 / 1,3 = 0,76$	$0 / 2 = 0$	$0 / 5 = 0$	$0 / 10 = 0$
9	$1 / 1,3 = 0,76$	$0 / 2 = 0$	$0 / 5 = 0$	$0 / 10 = 0$
10	$1 / 1,3 = 0,76$	$0 / 2 = 0$	$0 / 5 = 0$	$0 / 10 = 0$
11	$1 / 1,3 = 0,76$	$0 / 2 = 0$	$0 / 5 = 0$	$0 / 10 = 0$
12	$1 / 1,3 = 0,76$	$0 / 2 = 0$	$0 / 5 = 0$	$0 / 10 = 0$

Fonte: o autor.

Figura 78 – Cenário 2: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

A roleta Custo-Benefício sempre consome a ação positiva com o melhor custo-benefício. A tabela 33 mostra o valor qui-quadrado de cada ciclo, comprova a priorização ocorrida (99,9% de probabilidade de priorização quando o valor do qui-quadrado for maior que 16,27).

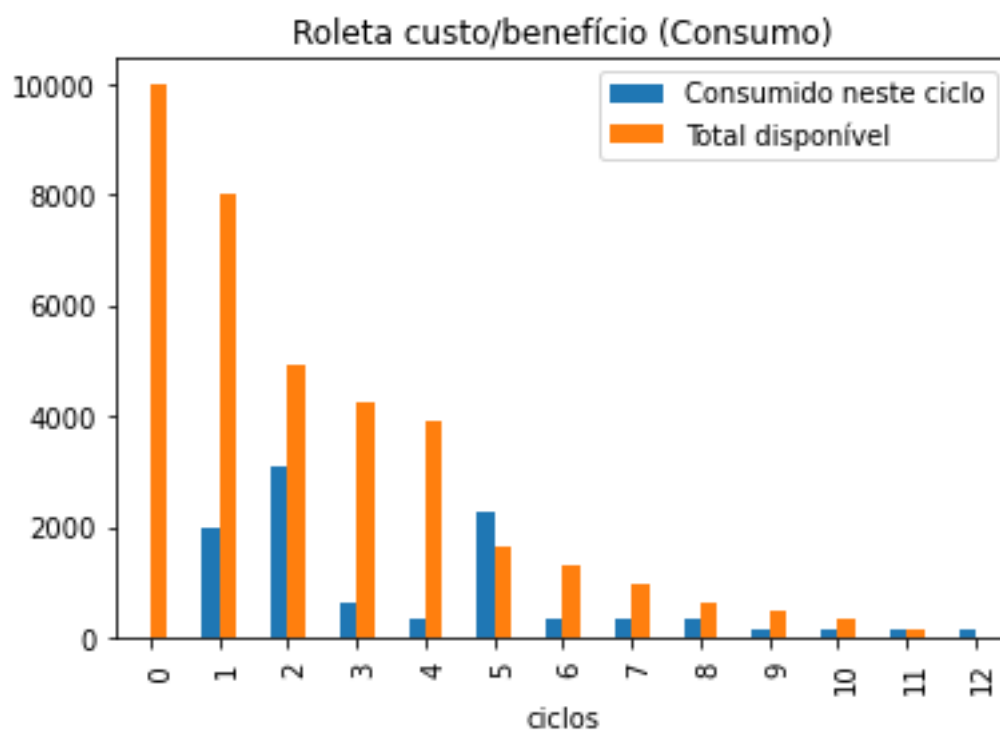
Mesmo com um maior consumo dos recursos nos ciclos 1, 2 e 5, devido ao valor mais alto das ações executadas nestes ciclos, o consumo dos recursos compartilhados não terminam antes da execução de todos os ciclos, conforme visto na figura 79.

Tabela 33 – Cenário 2: (roleta Custo-Benefício) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	300
2	173
3	230
4	300
5	226
6	300
7	300
8	300
9	300
10	300
11	300
12	300

Fonte: o autor.

Figura 79 – Cenário 2: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício



APÊNDICE C – CENÁRIO C3

Este cenário foi executado com a configuração descrita na tabela 34.

Tabela 34 – Cenário 2: (Configuração do cenário 3)

	AP₁	AP₂	AP₃	AP₄
Quantidade	500	500	500	500
Prioridade (%)	60	10	10	10
Custo	1.3	2	5	10

Fonte: o autor.

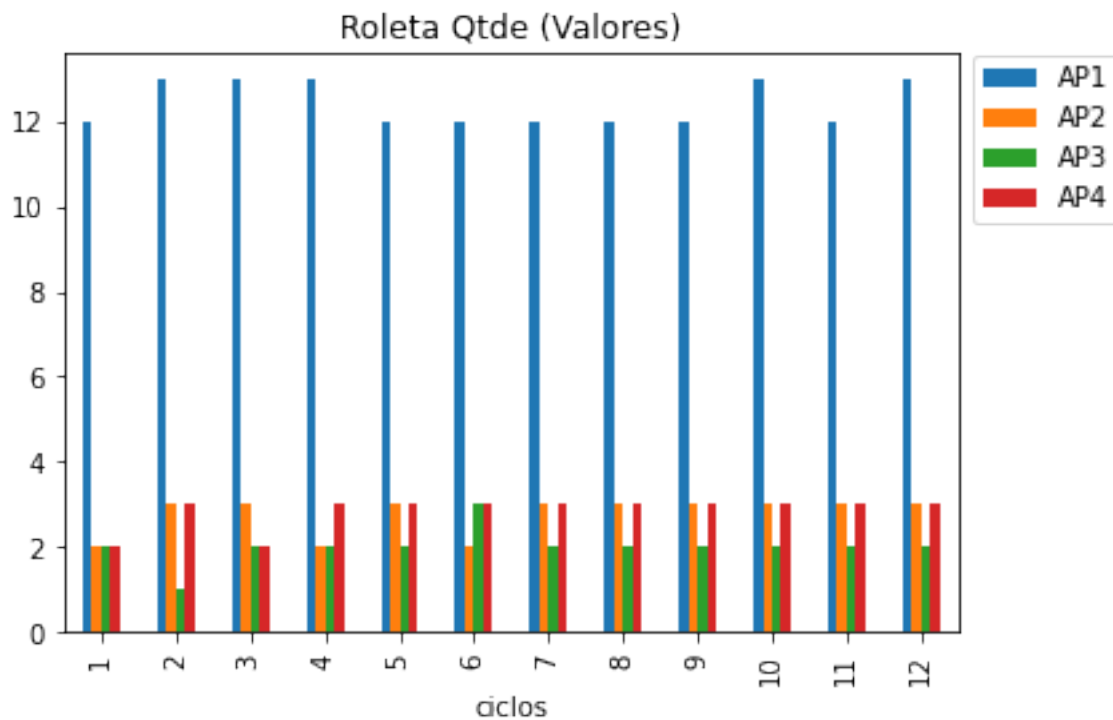
Neste cenário todas as ações possuem a mesma quantidade, mas a 1^a ação possui uma prioridade maior do que as demais ações. Isto significa que é desejado que esta ação seja executada antes das demais ações.

Para cada roleta foram executados 12 ciclos, cada ciclo recalcula, utilizando a metaheurística TLBO, o valor de cada ação conforme a quantidade de unidades disponíveis de cada ação positiva e das unidades ainda não consumidas de recursos compartilhados. A informação *custo* é utilizada apenas pela roleta custo-benefício.

C.1 CENÁRIO C3: ROLETA QUANTIDADE

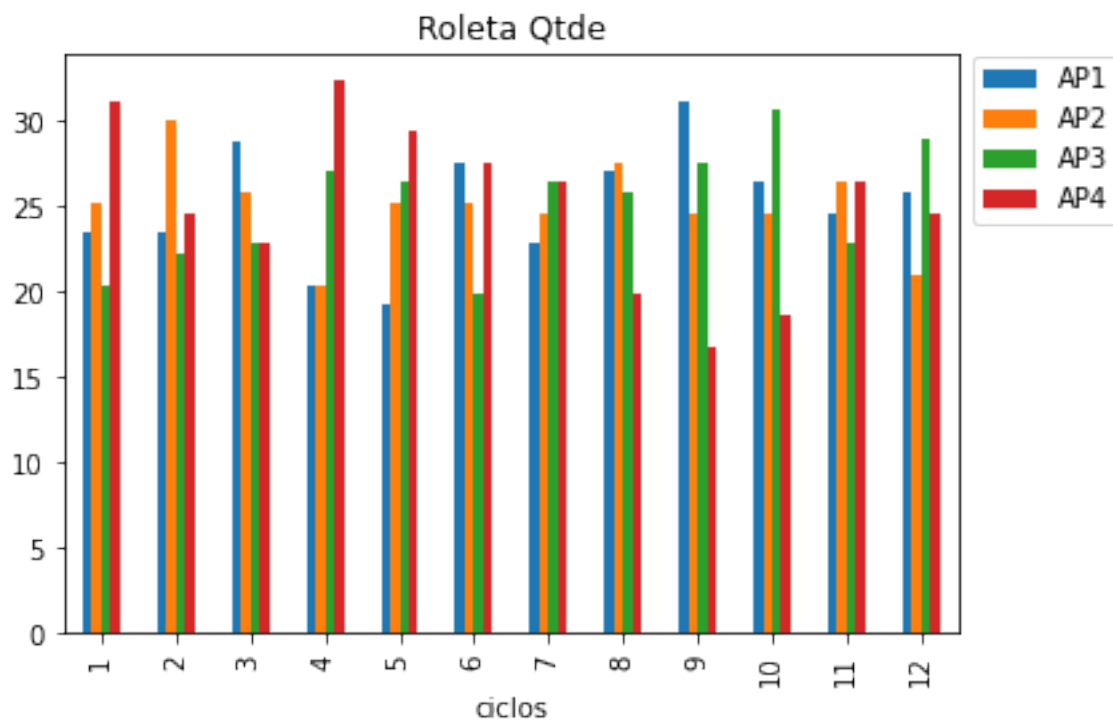
Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 80. No 1^o ciclo, o valor calculado para AP₂, AP₃ e AP₄ é o mesmo, visto que eles possuem a mesma quantidade disponível e prioridade. Como a AP₁ tem uma maior prioridade, ela foi calculada com um valor mais alto. Porém, como a roleta escolhe a ação com maior quantidade disponível e todas as ações possuem a mesma quantidade (500), não ocorre priorização (figura 81). A tabela 35 qui-quadrado também mostra isso. Todos os valores qui-quadrado são abaixo de 7,82.

Figura 80 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade



Fonte: o autor.

Figura 81 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade



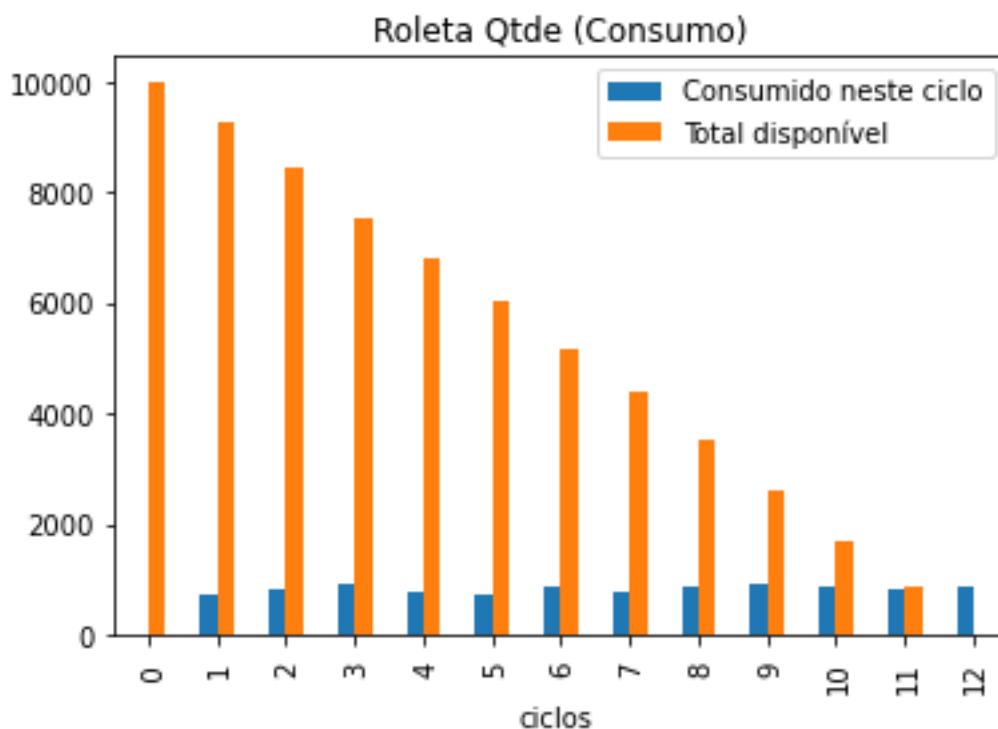
Fonte: o autor.

Tabela 35 – Cenário 3: (roleta Quantidade) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	2,47
2	1,41
3	0,98
4	4,02
5	2,19
6	1,61
7	0,37
8	1,53
9	4,48
10	2,96
11	0,35
12	1,30

Fonte: o autor.

A figura 82 mostra que, também neste cenário, o consumo do recurso compartilhado foi feito de forma controlada, independentemente que exista uma ação com uma prioridade maior que as demais.

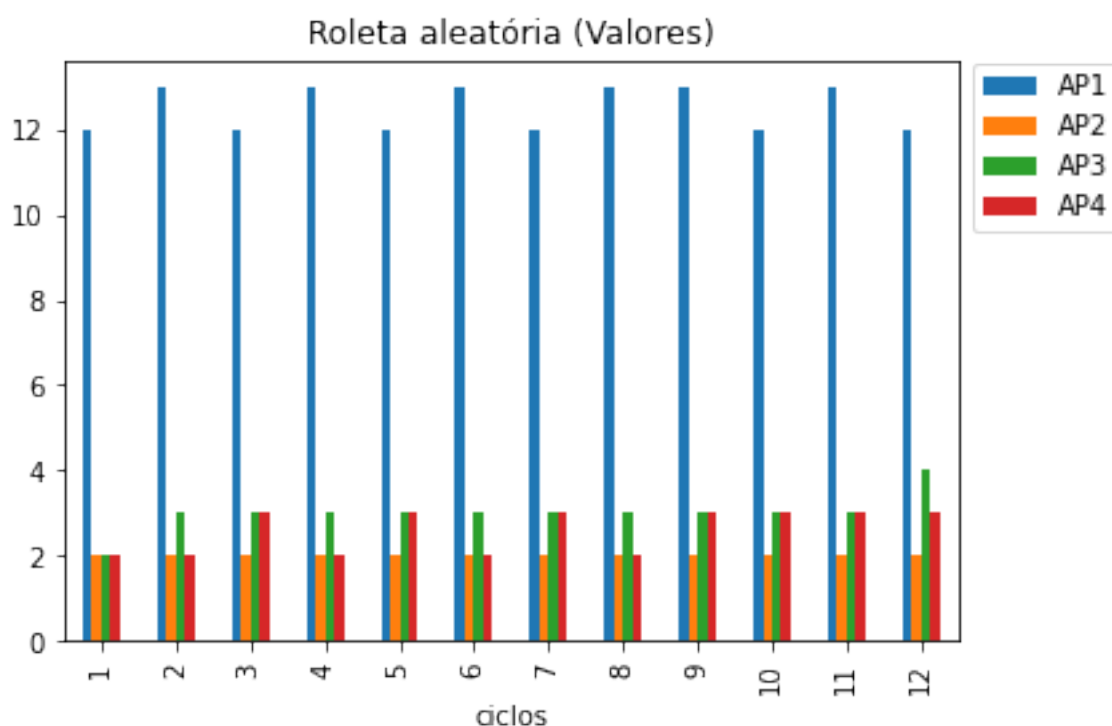
Figura 82 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade

Fonte: o autor.

C.2 CENÁRIO C3: ROLETA ALEATÓRIA

A figura 83 mostra os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo. No 1º ciclo, o valor calculado para AP₂, AP₃ e AP₄ é o mesmo, visto que eles possuem a mesma quantidade disponível e prioridade. Como esperado, a roleta aleatória não prioriza a execução de nenhuma ação, a tabela 36 com praticamente todos os valores qui-quadrado abaixo 7,82 mostra isso. Apenas o último ciclo possui uma maior execução da AP₂, devido a quantidade de unidades disponíveis (figura 84).

Figura 83 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória



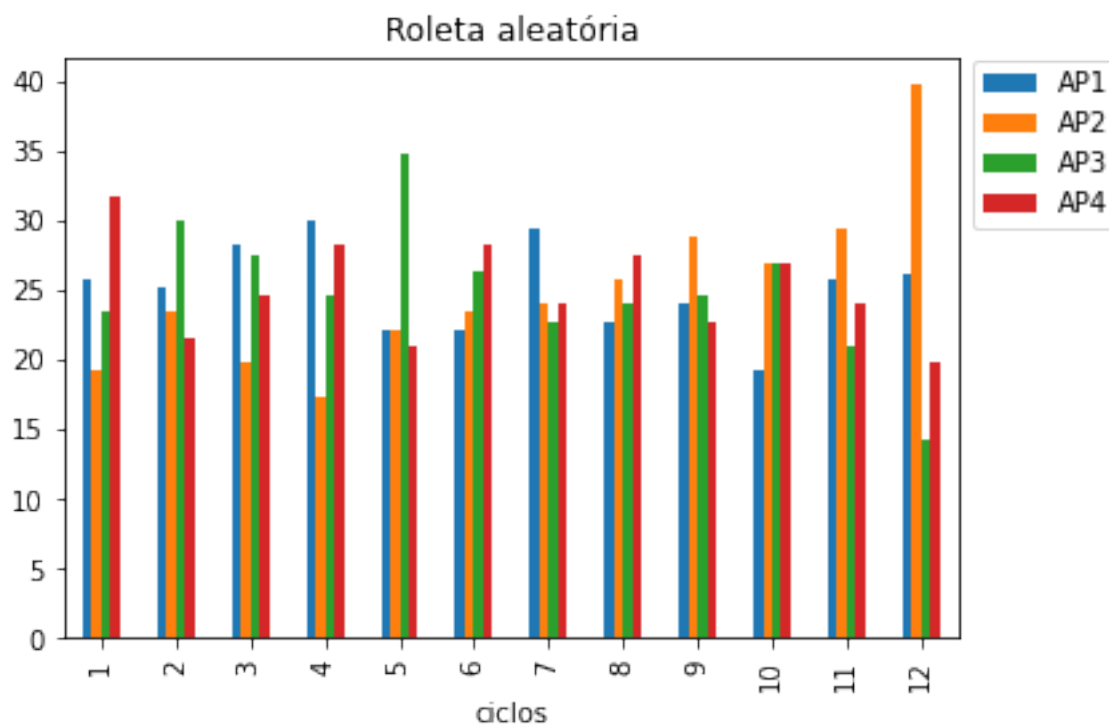
Fonte: o autor.

Tabela 36 – Cenário 3: (roleta Aleatória) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	3,30
2	1,55
3	1,76
4	3,71
5	5,08
6	0,89
7	1,04
8	0,52
9	0,81
10	1,81
11	1,47
12	14,39

Fonte: o autor.

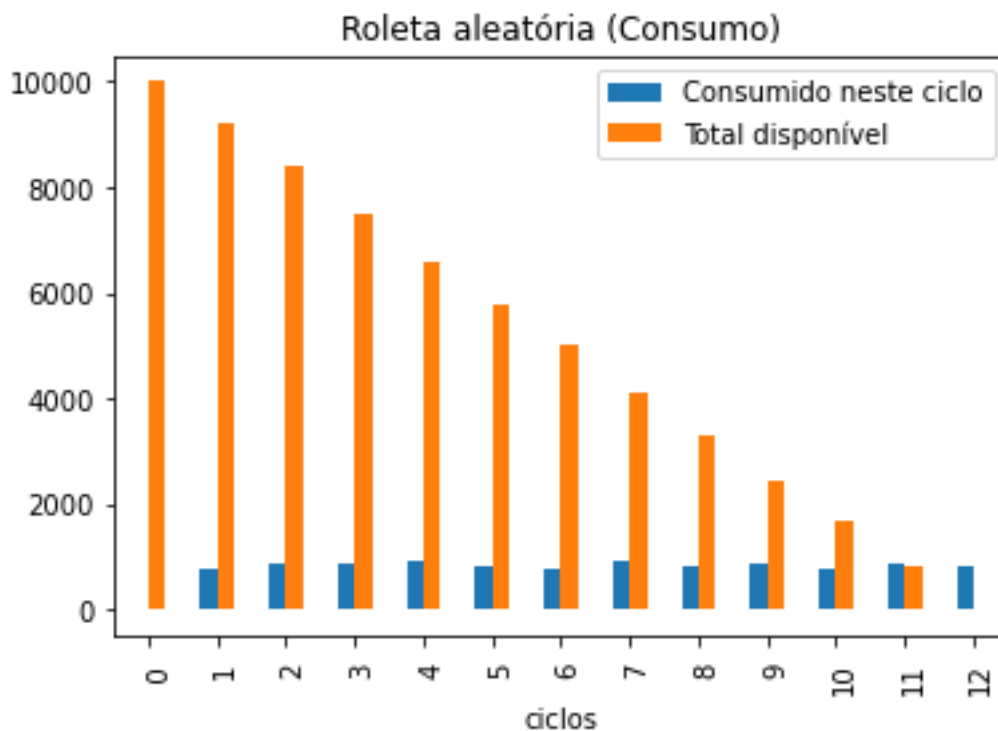
Figura 84 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

Na figura 85 é possível perceber que existem recursos disponíveis em todos os ciclos, ou seja, os recursos não são exauridos antes do último ciclo ser executado.

Figura 85 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade

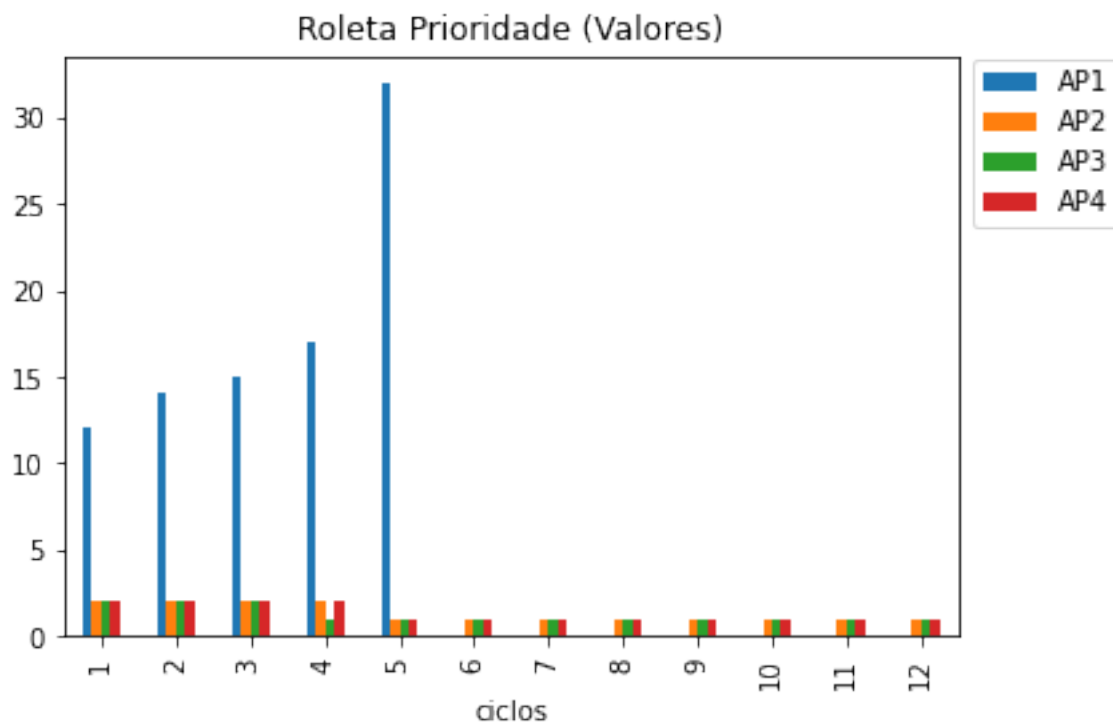


Fonte: o autor.

C.3 CENÁRIO 3: ROLETA PRIORIDADE

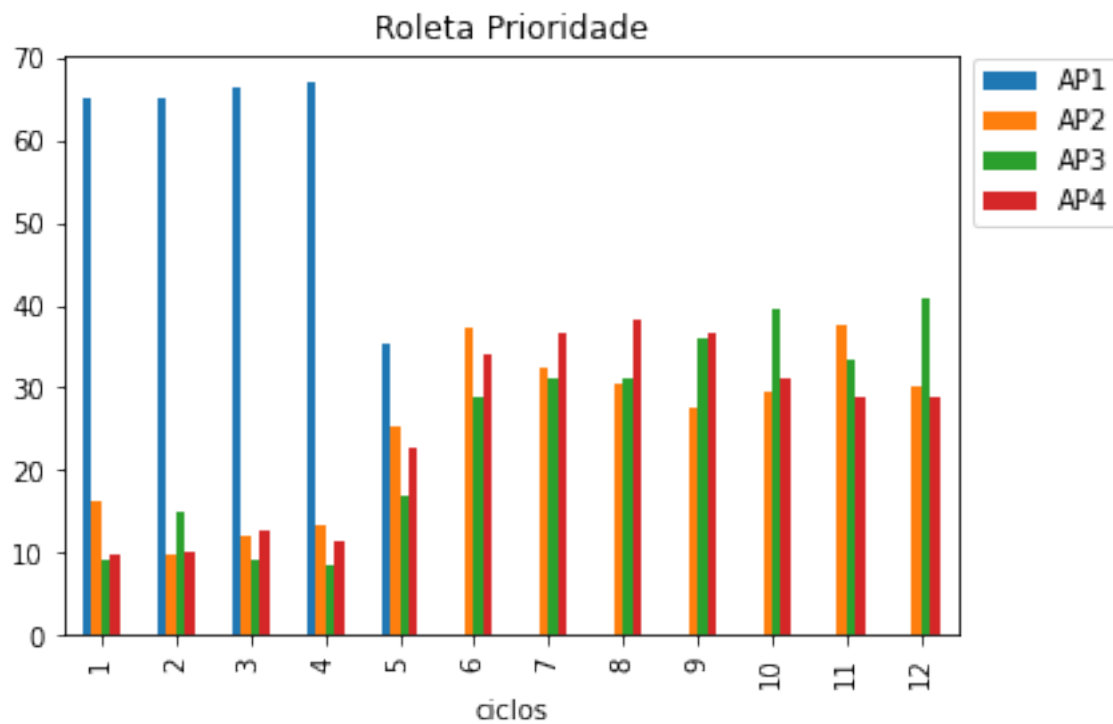
Os valores calculados pela metaheurística TLBO são exibidos na figura 86. A AP_1 que possui uma prioridade maior, recebe o maior valor. A roleta Prioridade prioriza as ações com maior prioridade. Por isso que, enquanto existem unidades disponíveis, a AP_1 é mais executada. Após o término das suas unidades, as AP_2 , AP_3 e AP_4 são executadas de forma parecida (figura 87).

Figura 86 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

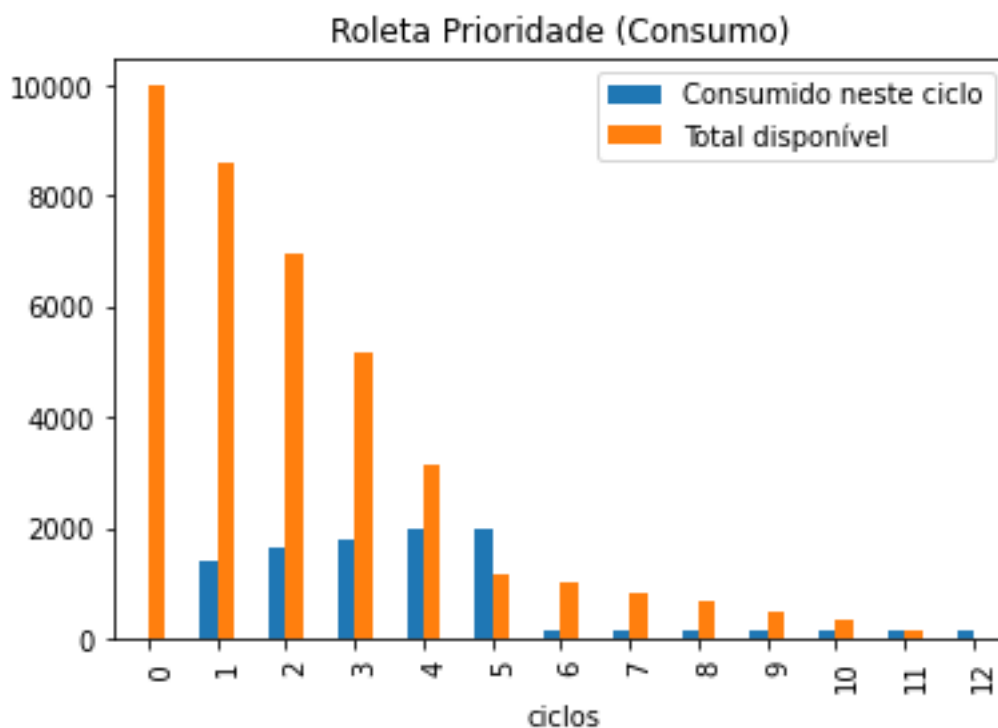
Figura 87 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

O fim das unidades do AP_1 no 5º ciclo demonstra que esta ação foi priorizada como desejado. A figura 88 mostra que o consumo dos recursos compartilhados ocorreu até o término do 12º ciclo.

Figura 88 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade

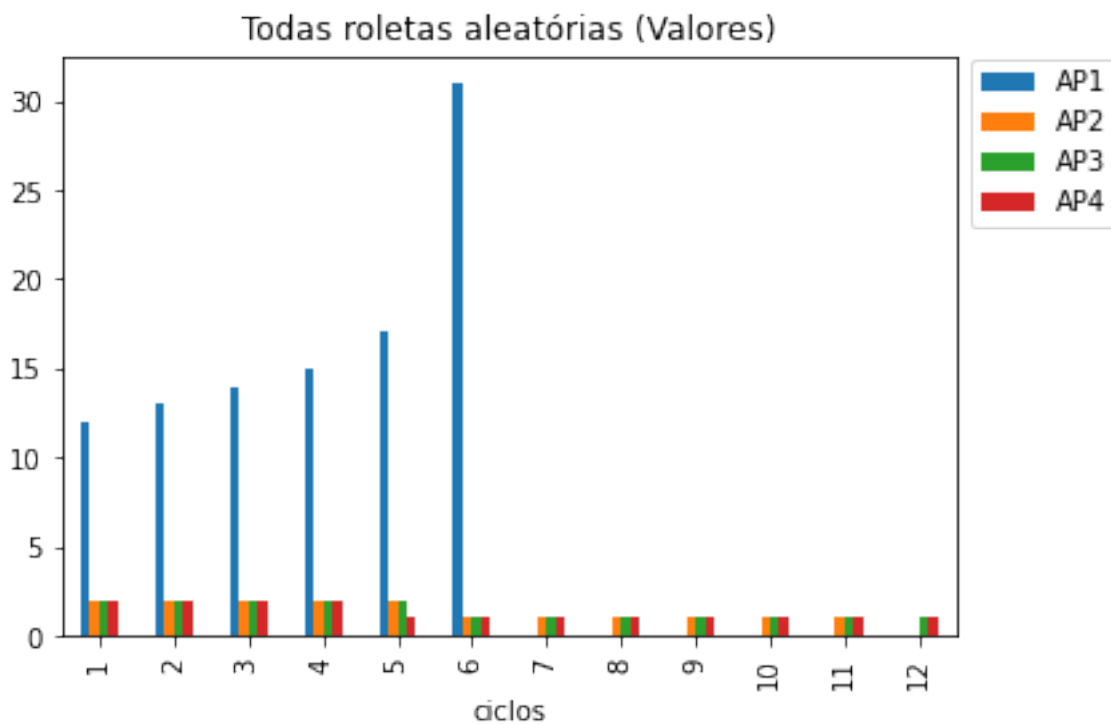


Fonte: o autor.

C.4 CENÁRIO C3: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS

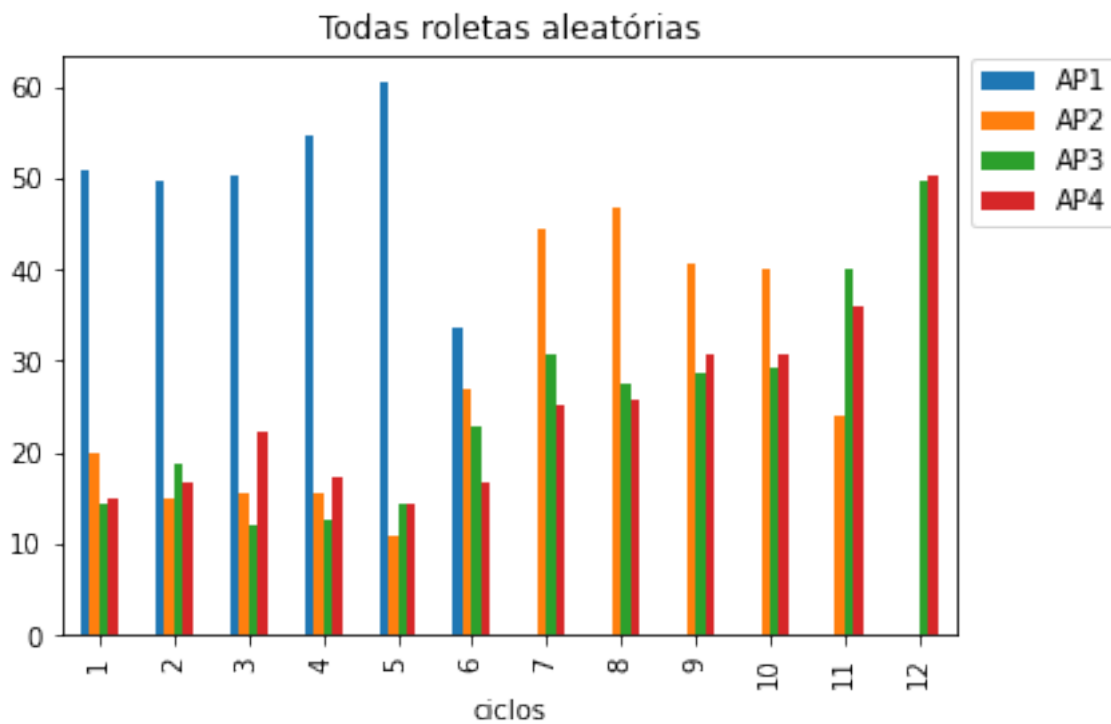
A figura 89 mostra os valores das APs calculados pela metaheurística TLBO. A AP_1 recebe um valor maior por ter uma prioridade mais alta. A figura 90 mostra que a AP_1 é priorizada, mesmo este cenário utilizando diferentes roletas aleatoriamente, as roletas de valor, prioridade e custo-benefício fazem com que a AP_1 seja executada com maior frequência. É interessante observar que neste cenário, a AP_1 foi executada até o 6º ciclo, no C3 com a roleta Prioridade (seção C.3), ele terminou no 5º ciclo. Isto ocorreu por que as roletas Quantidade e Aleatória escolheram as AP_2 , AP_3 e AP_4 poupando os recursos da AP_1 .

Figura 89 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

Figura 90 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

A tabela 37 mostra que 11 cenários tiveram o qui-quadrado maior que 16,27. Isto significa que existe 99,9% de chances de ter ocorrido priorização.

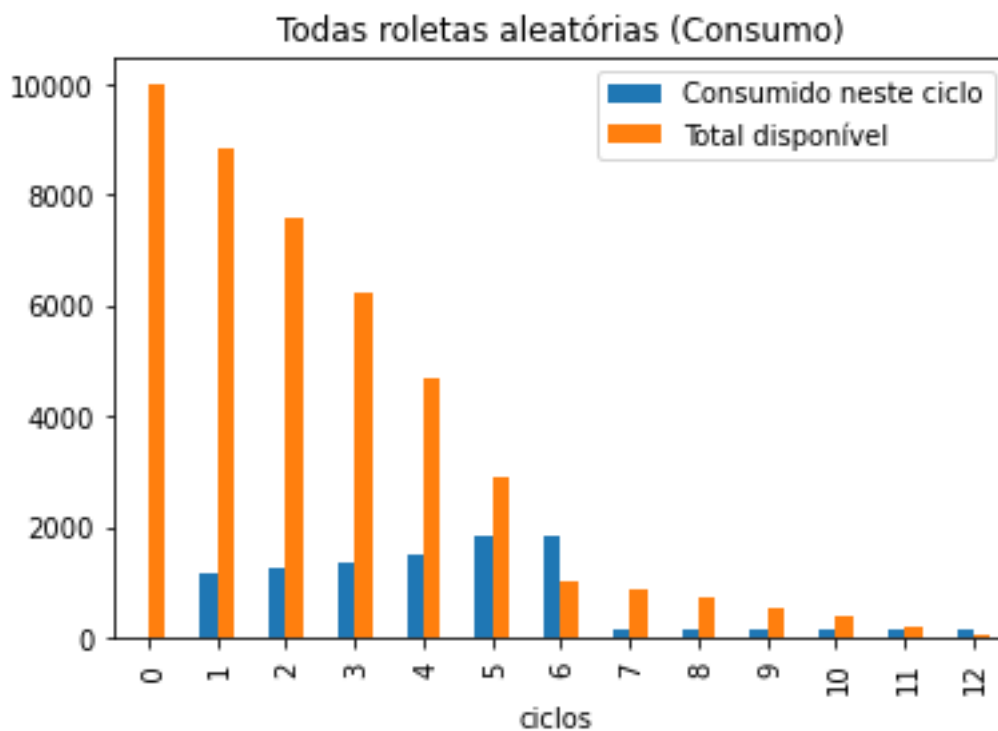
Tabela 37 – Cenário 3: (roleta Todas Aleatórias) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	87,75
2	87,18
3	92,00
4	94,84
5	7,18
6	34,77
7	33,97
8	34,83
9	35,35
10	35,69
11	34,94
12	36,78

Fonte: o autor.

A figura 91 mostra que, mesmo com a priorização da AP1, os recursos compartilhados não terminaram antes da execução dos 12 ciclos.

Figura 91 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias

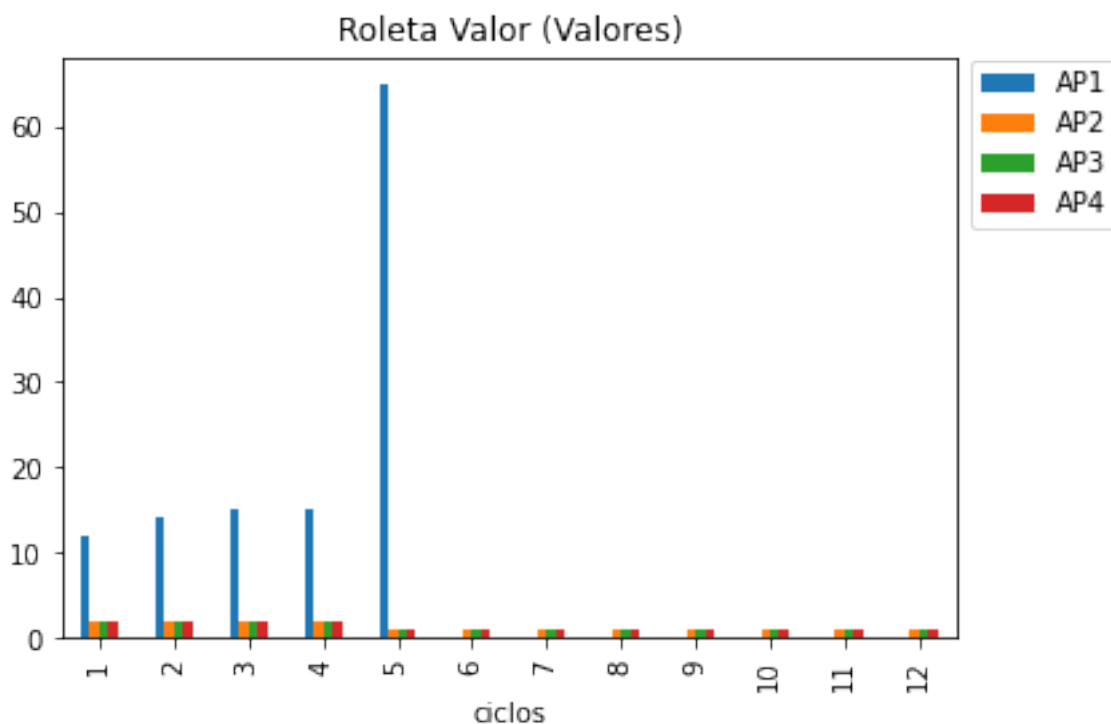


Fonte: o autor.

C.5 CENÁRIO C3: ROLETA VALOR

A figura 92 exibe os valores calculados para cada AP. Percebe-se que no 5º ciclo, o valor da AP₁ foi maior, pois as disponíveis estavam finalizando. Isto tornou cada execução ainda mais valiosa.

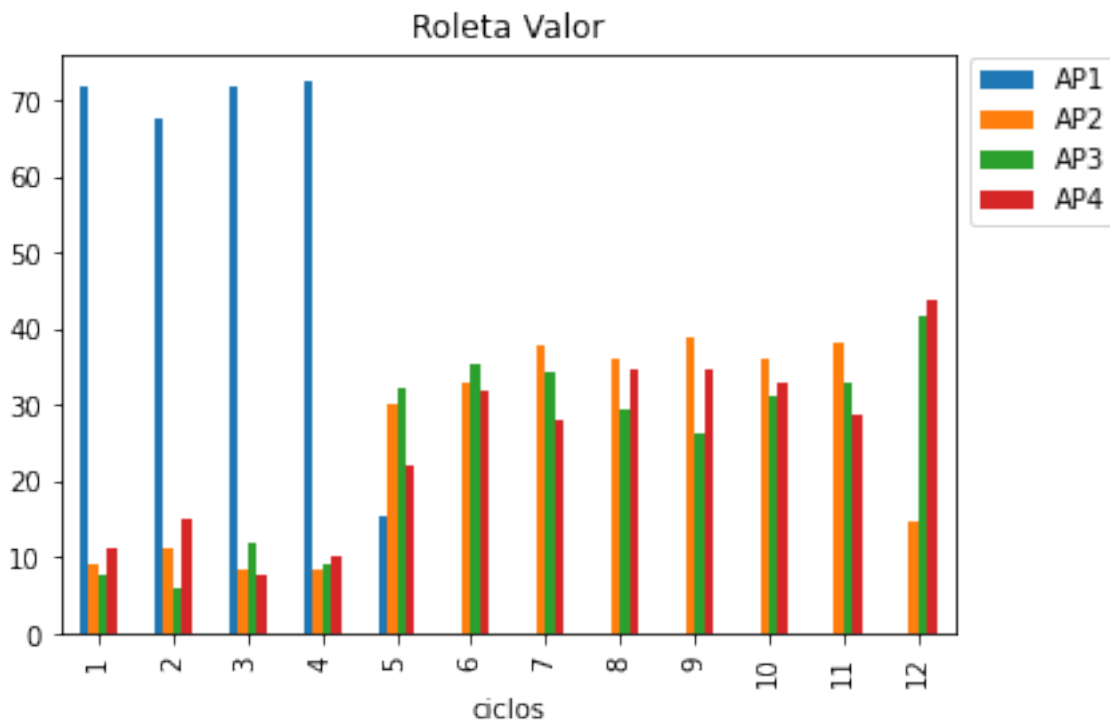
Figura 92 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor



Fonte: o autor.

No 5º ciclo, as unidades da AP₁ terminaram, como pode ser visto na figura 93. Isto demonstra que a AP1 foi priorizada, como desejado.

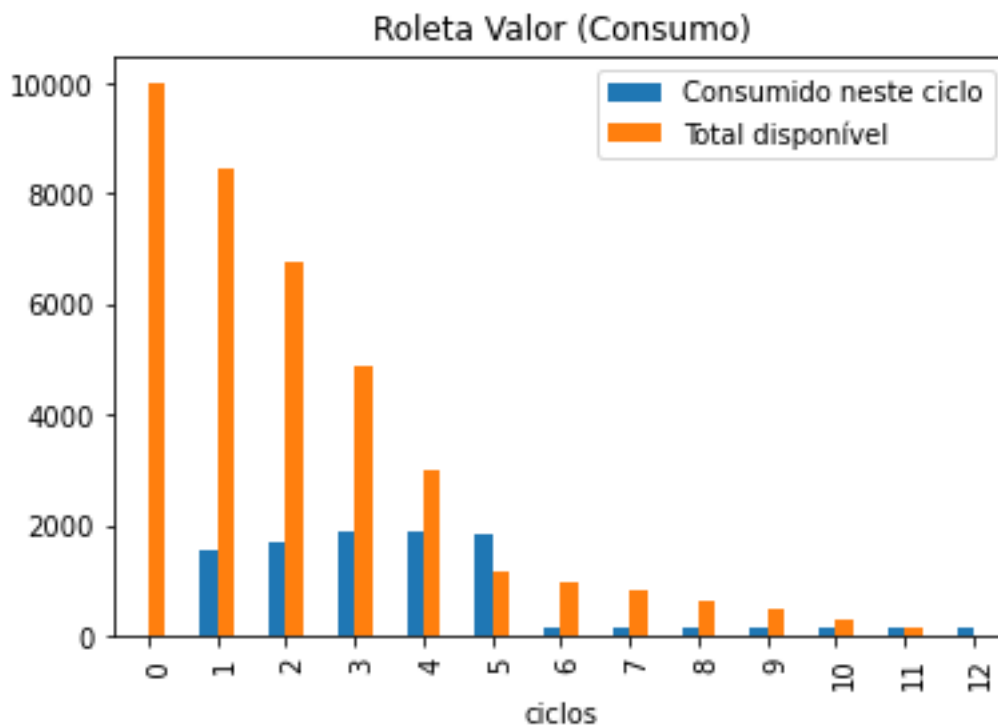
Figura 93 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor



Fonte: o autor.

A figura 94 mostra que também nesta roleta, mesmo com a priorização da AP₁, os recursos compartilhados não terminaram antes da execução dos 12 ciclos.

Figura 94 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Valor

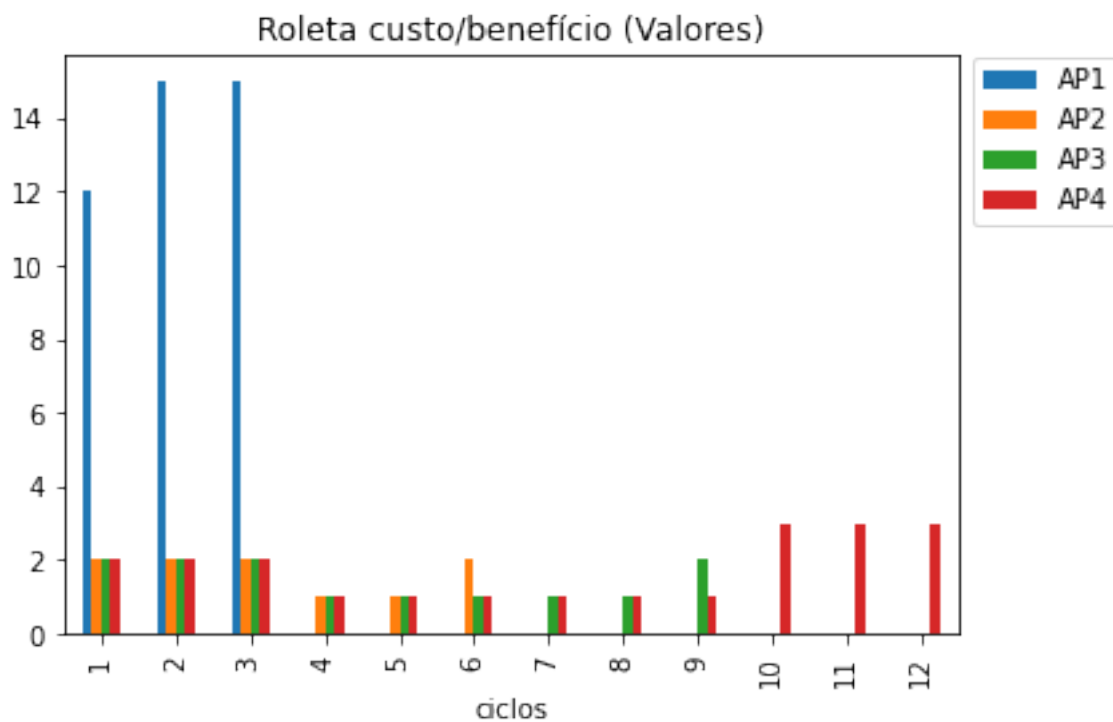


Fonte: o autor.

C.6 CENÁRIO C3: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO

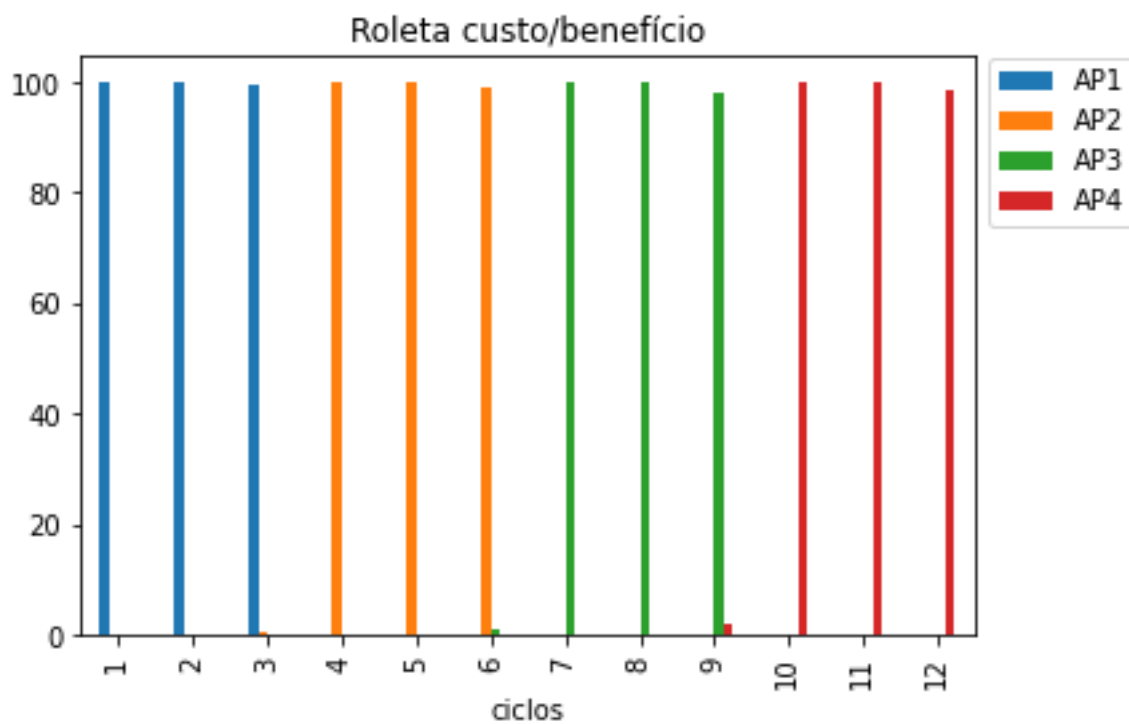
A figura 95 mostra os valores calculados pela metaheurística TLBO para as ações disponíveis. Como a AP_1 teve o melhor custo-benefício, ela foi consumida até terminar as suas unidades (figura 96). As AP_2 , AP_3 e AP_4 tinham, em sequência, o melhor custo-benefício sendo executadas nesta ordem.

Figura 95 – Cenário 3: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

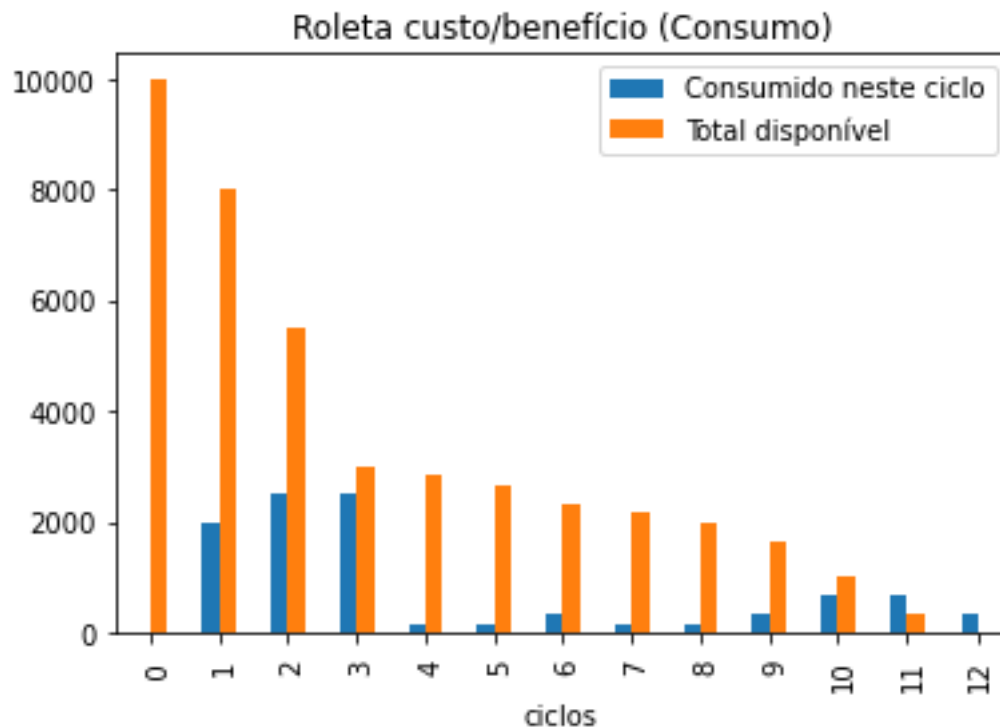
Figura 96 – Cenário 3: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

A figura 97 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi maior inicialmente, devido ao valor alto da AP_1 e sua priorização, mas os recursos foram consumidos até o 12º ciclo.

Figura 97 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

APÊNDICE D – CENÁRIO C4

Este cenário foi executado com a configuração descrita na tabela 38.

Tabela 38 – Configuração do cenário 4

	AP1	AP2	AP3	AP4
Quantidade	500	500	500	500
Prioridade (%)	50	30	15	5
Custo	1.3	2	5	10

Fonte: o autor.

Neste cenário todas as ações possuem a mesma quantidade, mas as ações possuem prioridades diferentes.

Para cada roleta foram executados 12 ciclos, cada ciclo recalcula, utilizando a metaheurística TLBO, o valor de cada ação conforme a quantidade de unidades disponíveis de cada ação positiva e das unidades ainda não consumidas de recursos compartilhados. A informação *custo* é utilizada apenas pela roleta custo-benefício.

D.1 CENÁRIO C4: ROLETA QUANTIDADE

A figura 98 mostra os valores calculados para as APs em cada ciclo. É possível perceber que em todos os ciclos as ações AP₁, AP₂, AP₃ e AP₄ tiveram, os maiores valores na mesma ordem das suas prioridades (definidas na tabela 38). Isto ocorreu por que a Roleta Quantidade prioriza as ações com maior quantidade e como neste cenário todas as ações possuem a mesma quantidade, nenhuma ação foi priorizada (figura 99). Isto também é demonstrado na tabela 39, onde todos os valores de qui-quadrado são menores que 7,82.

Figura 98 – Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade

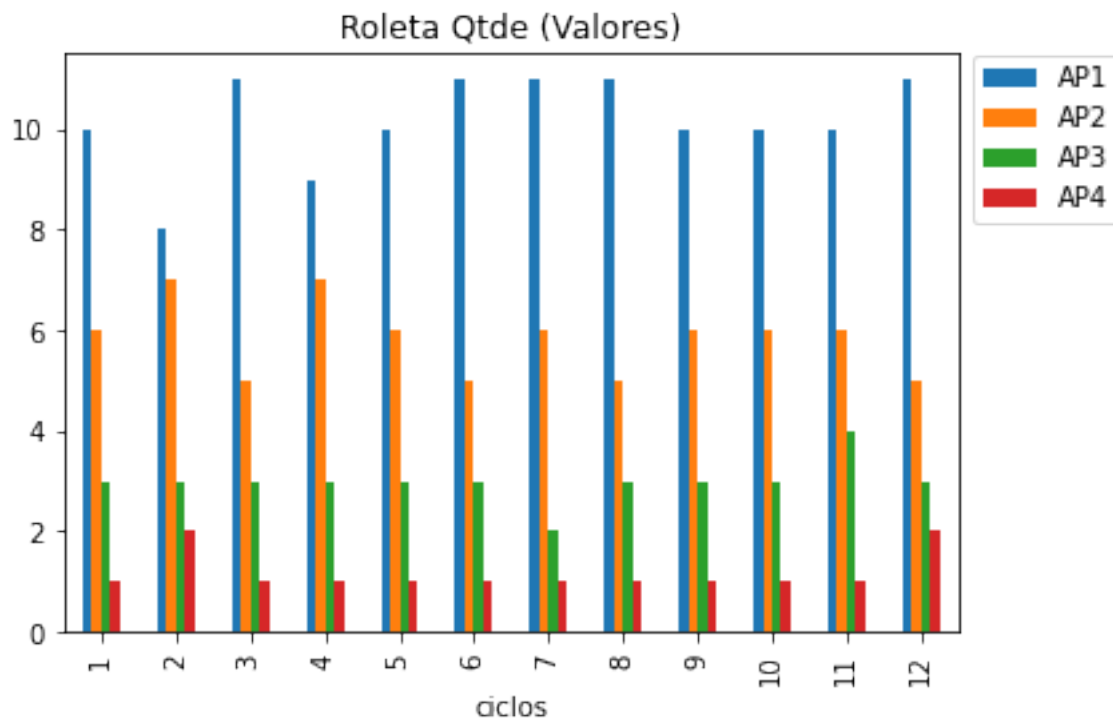
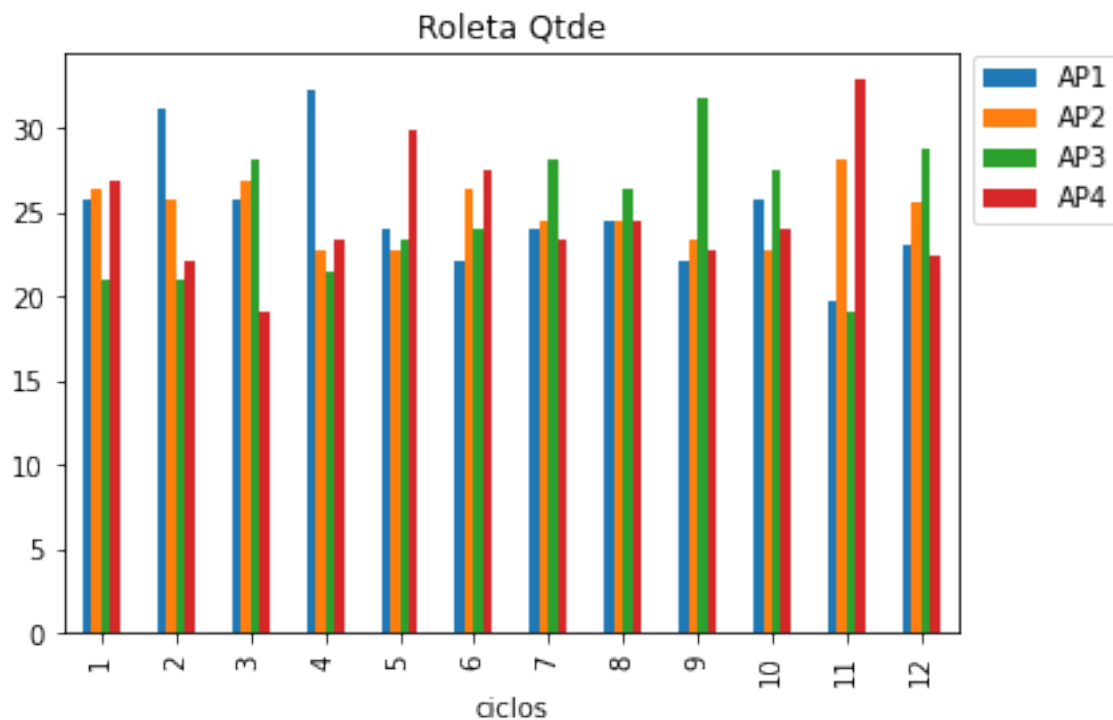


Figura 99 – Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade

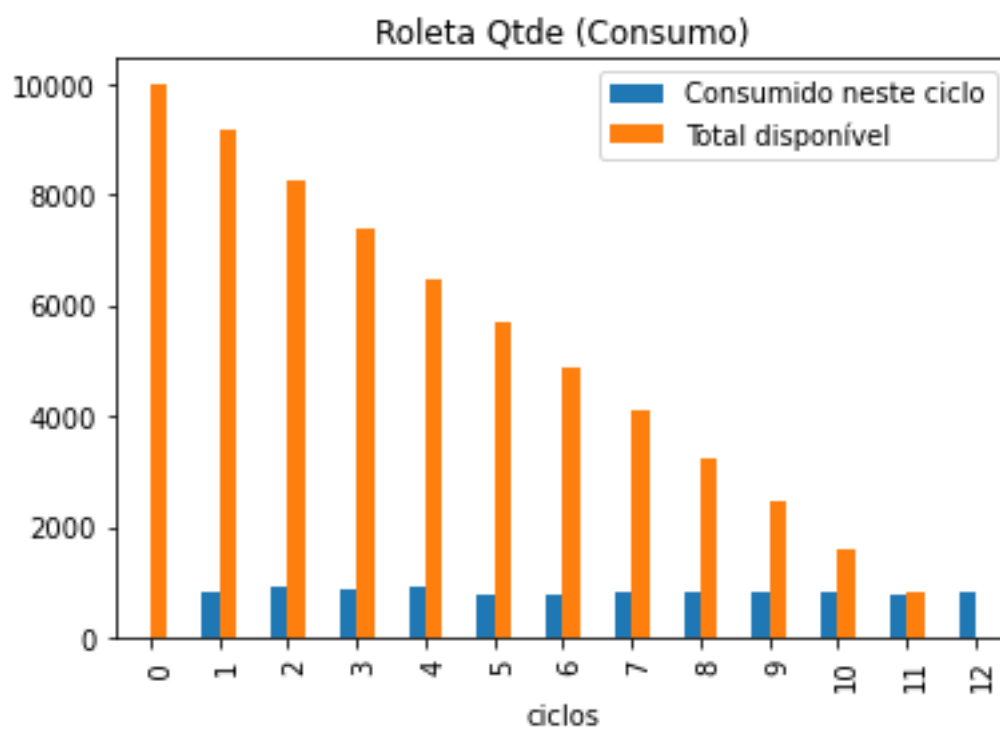


Como a execução das ações ocorre sem prioridade é esperado que o consumo dos recursos compartilhados seja parecido em cada ciclo. Isto pode ser visto na figura 100.

Tabela 39 – Cenário 4: (roleta Quantidade) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	0,89
2	2,50
3	1,93
4	2,93
5	1,33
6	0,69
7	0,55
8	0,09
9	2,44
10	0,52
11	5,37
12	0,96

Fonte: o autor.

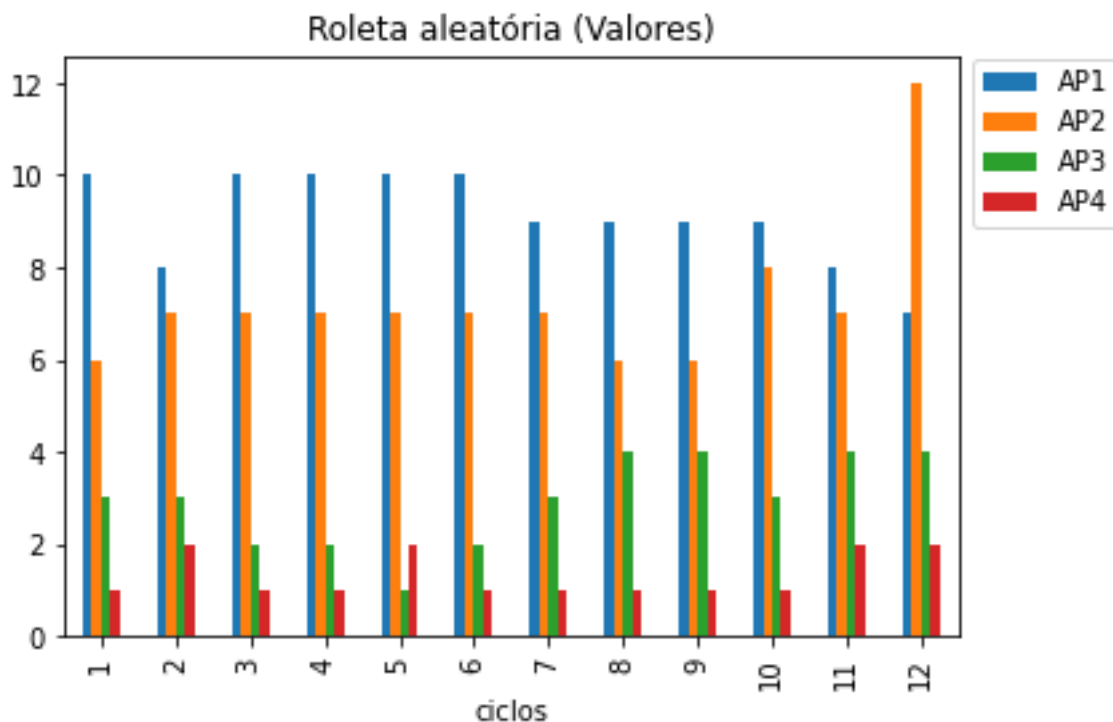
Figura 100 – Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade

Fonte: o autor.

D.2 CENÁRIO C4: ROLETA ALEATÓRIA

A figura 101 mostra os valores calculados pela metaheurística TLBO para as 4 ações em todos os 12 ciclos. A priorização das ações pode ser visualizada no valor calculado para cada ação.

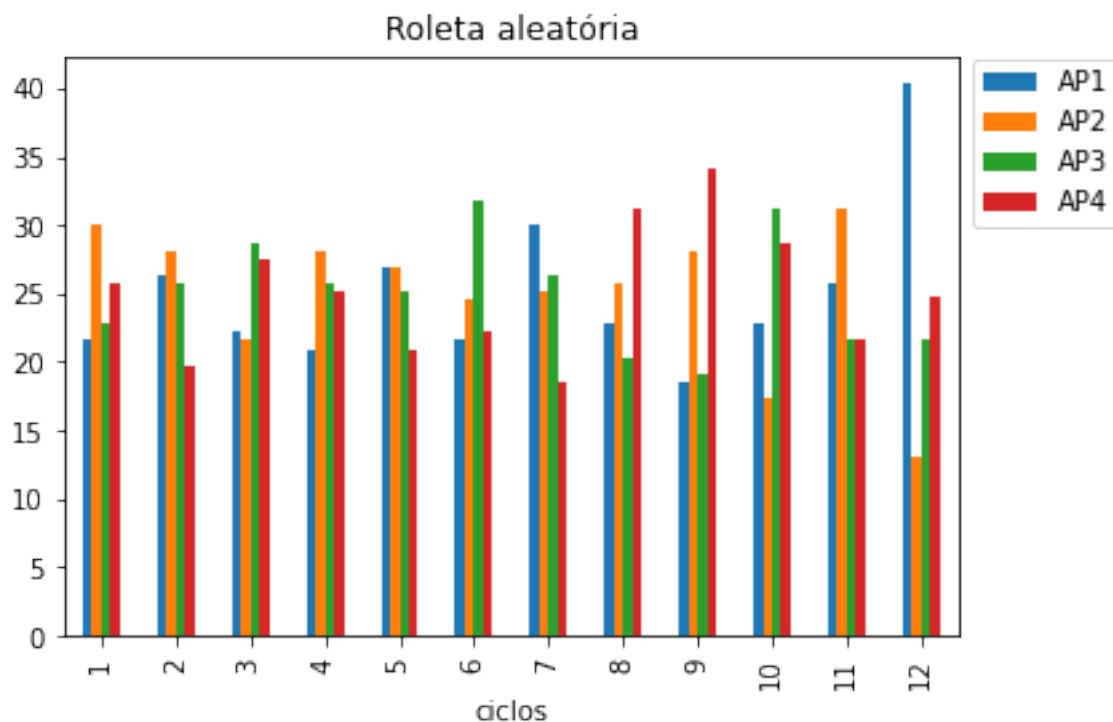
Figura 101 – Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

A tabela 40 de valores de qui-quadrado, mostra que, com exceção do último ciclo, não houve priorização das ações selecionadas. Este é o comportamento esperado na roleta aleatória. O fato da roleta ser aleatória, pode fazer com que, eventualmente, algum ciclo tenha uma AP sendo mais executada, esta situação ocorreu no ciclo 12 (figura 102).

Figura 102 – Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

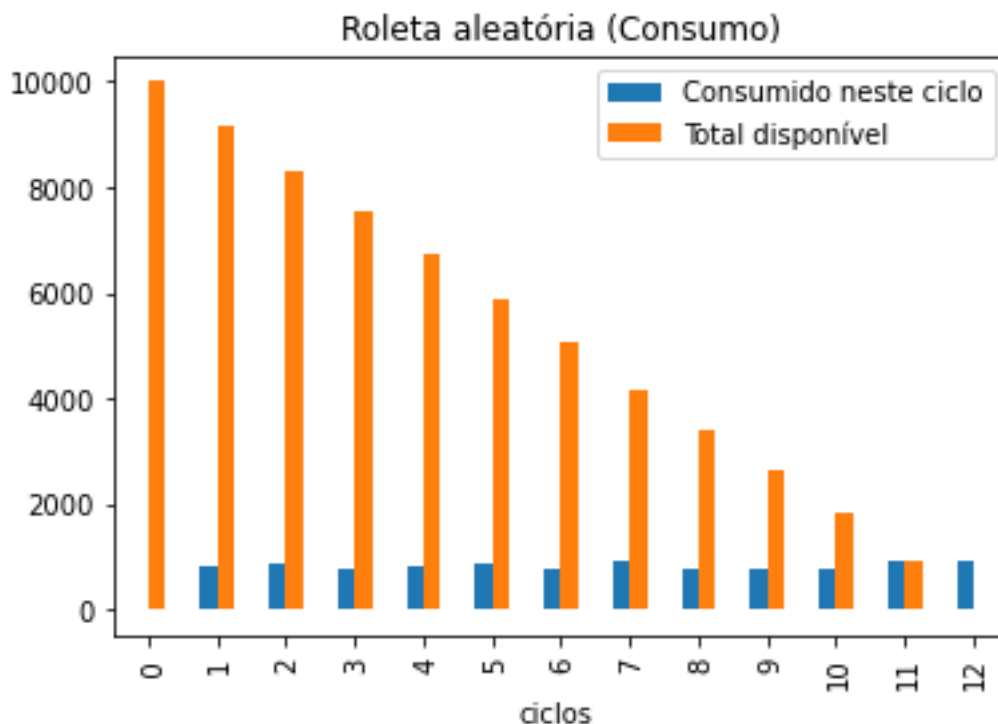
Tabela 40 – Cenário 4: (roleta Aleatória) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	1,67
2	1,58
3	1,61
4	1,07
5	0,95
6	2,62
7	2,70
8	2,59
9	6,75
10	4,60
11	2,47
12	15,59

Fonte: o autor.

Como a execução das ações ocorre sem prioridade e de forma aleatória é esperado que o consumo dos recursos compartilhados seja parecido em cada ciclo. Isto pode ser visto na figura 103.

Figura 103 – Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória

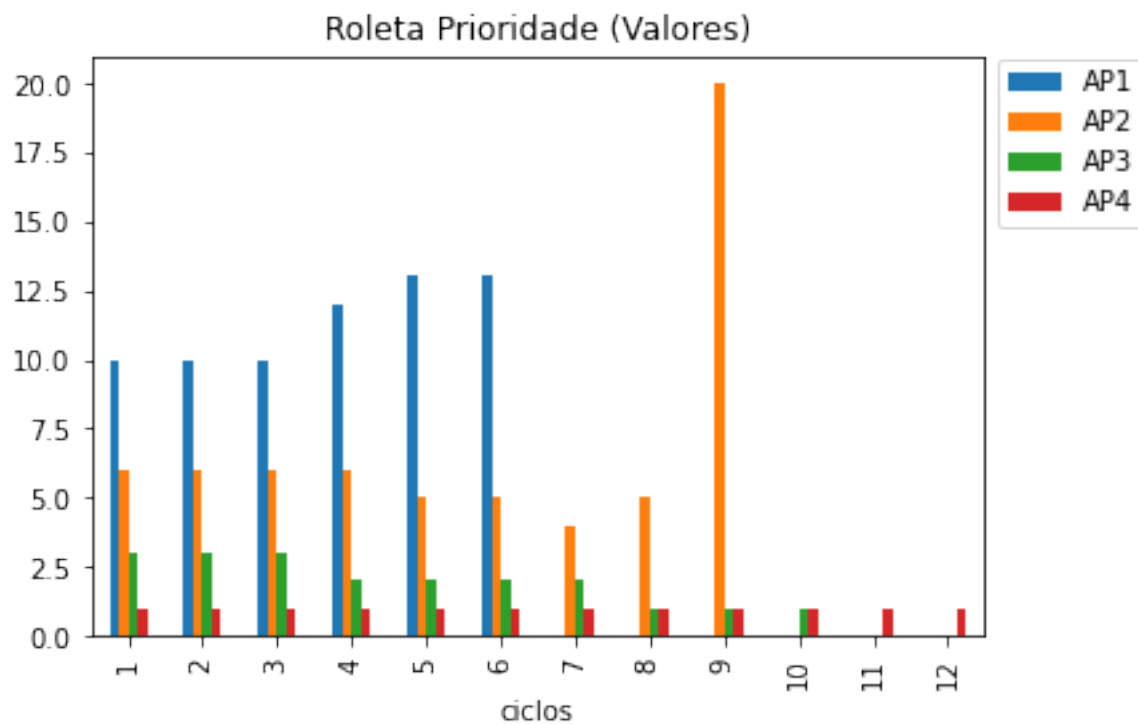


Fonte: o autor.

D.3 CENÁRIO C4: ROLETA PRIORIDADE

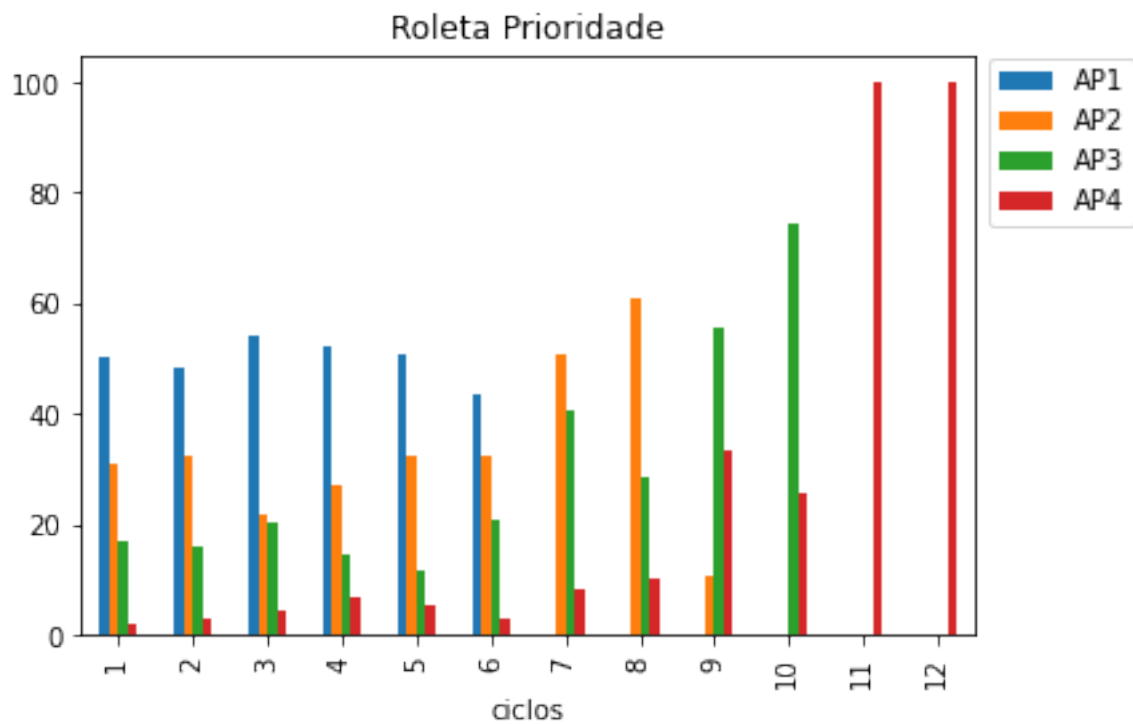
A figura 104, com os valores calculados pela TLBO para as ações, mostra que as APs com maior valor são as com maior prioridade. Até o 6º ciclo, quando todas as unidades da AP₁ foram consumidas, esta foi a ação mais executada. Então, a AP₂, que possuía a 2ª maior prioridade, foi a ação mais executada. Quando no 9º ciclo terminaram as unidades da AP₂, a AP₃ passou a ser a mais executada. Por fim, quando no ciclo 10 as unidades da AP₃ terminaram, a AP₄ passou a ser a mais executada.

Figura 104 – Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

Figura 105 – Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

A tabela 41 comprova, com todos os valores maiores que 16,27, que houve priorização nas ações selecionadas.

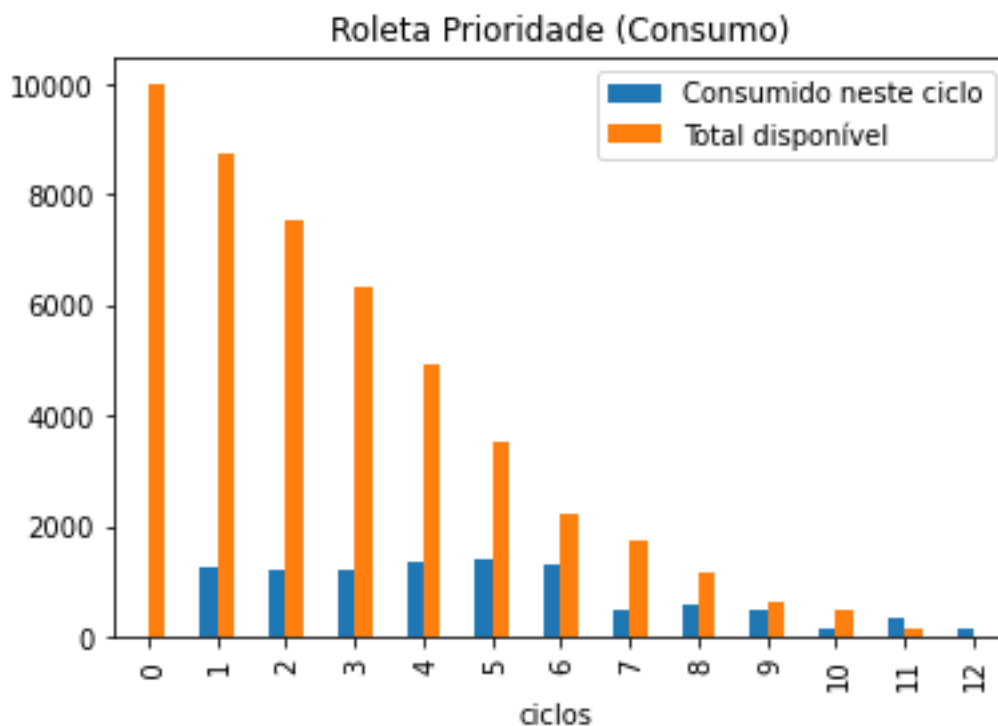
Tabela 41 – Cenário 4: (roleta Prioridade) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	51,35
2	46,73
3	52,04
4	47,59
5	51,78
6	36,18
7	72,75
8	86,41
9	73,67
10	147,05
11	300
12	300

Fonte: o autor.

A figura 106, mostra que, mesmo com as 4 APs sendo corretamente priorizadas, o consumo dos recursos compartilhados foi realizado até o último ciclo.

Figura 106 – Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade

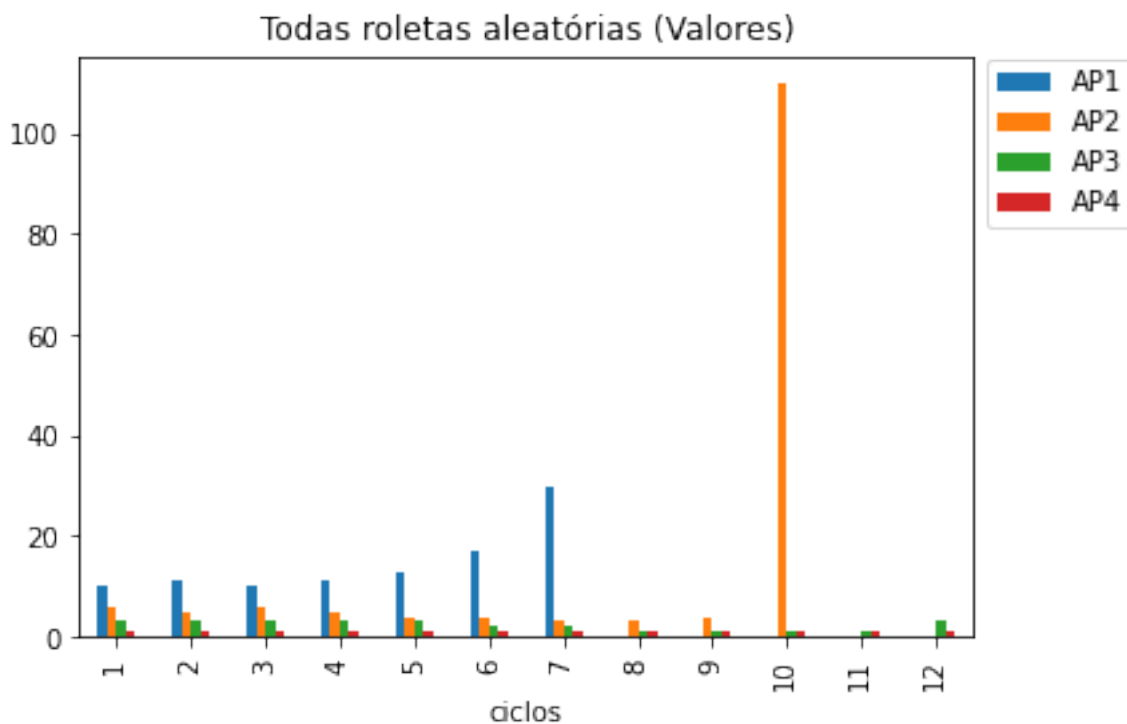


Fonte: o autor.

D.4 CENÁRIO C4: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS

A figura 107 mostra os valores calculados para as APs pela metaheurística TLBO. A ordem de prioridades definida ocorre nos valores em cada ciclo. No 10º ciclo o valor da AP₂ foi muito alto, pois a sua quantidade disponível estava quase no fim.

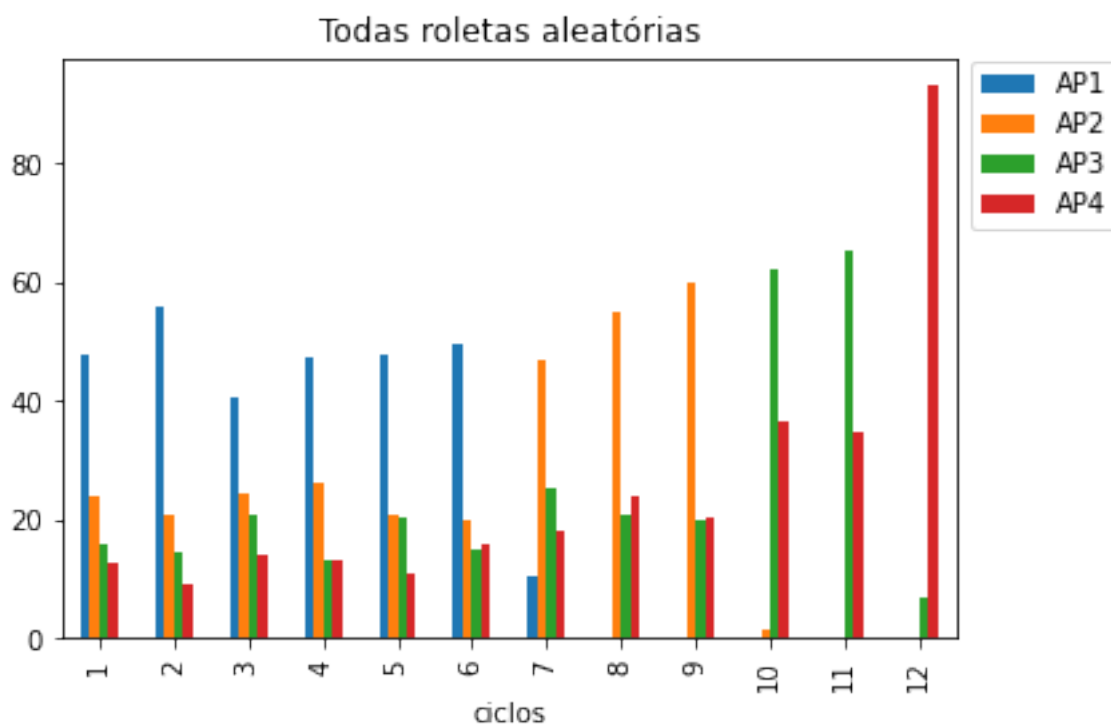
Figura 107 – Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

A figura 108 que as APs foram executadas na ordem das suas prioridades: a AP₁ terminou antes, seguidas pelas AP₂, AP₃ e, por último, a AP₄.

Figura 108 – Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

Esta priorização é comprovada pela tabela 42, onde todos os valores de qui-quadrado são superiores a 16,27.

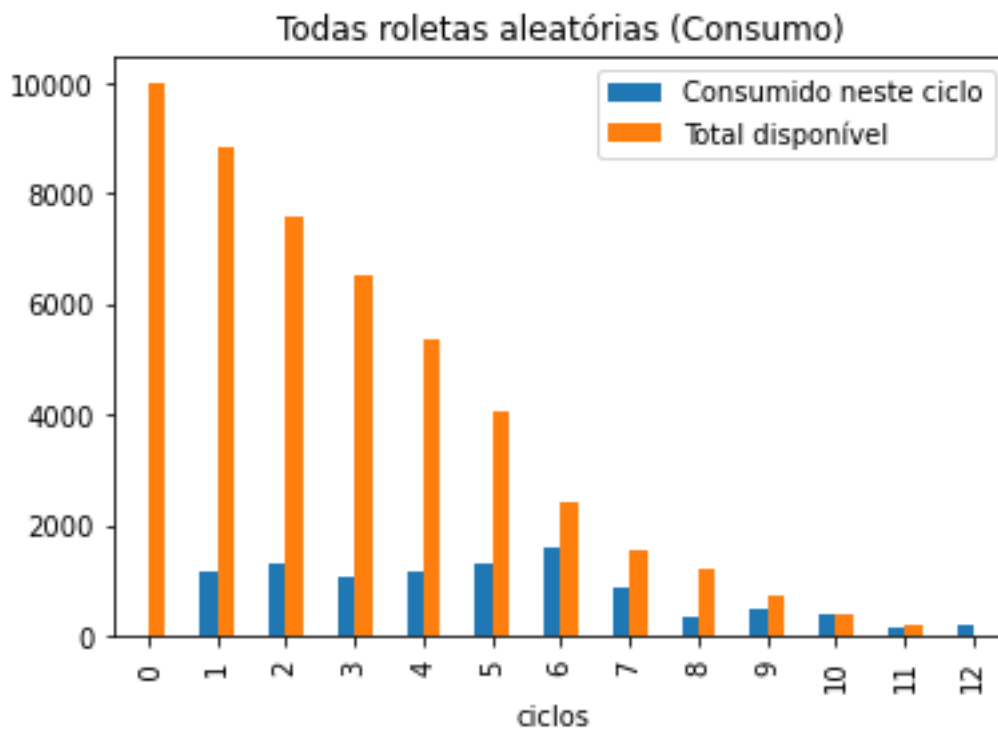
Tabela 42 – Cenário 4: (roleta Todas Aleatórias) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	30,76
2	53,10
3	15,58
4	31,16
5	30,58
6	33,08
7	29,61
8	61,91
9	75,62
10	108,55
11	118,65
12	249,65

Fonte: o autor.

A figura 109 mostra que, mesmo com a priorização realizada, todos os ciclos tiveram recursos compartilhados a serem consumidos.

Figura 109 – Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias



D.5 CENÁRIO C4: ROLETA VALOR

A figura 110 mostra os valores calculados para as APs. A priorização ocorreu nos valores de cada AP. A priorização das ações também aparece na figura 111. A AP₁ foi executada até o 6^o ciclo, quando a AP₂ começou a ser priorizada até terminar as suas unidades no 8^o ciclo. No 12^o ciclo a AP₃ terminou, quando então a AP₄ foi totalmente consumida.

Figura 110 – Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor

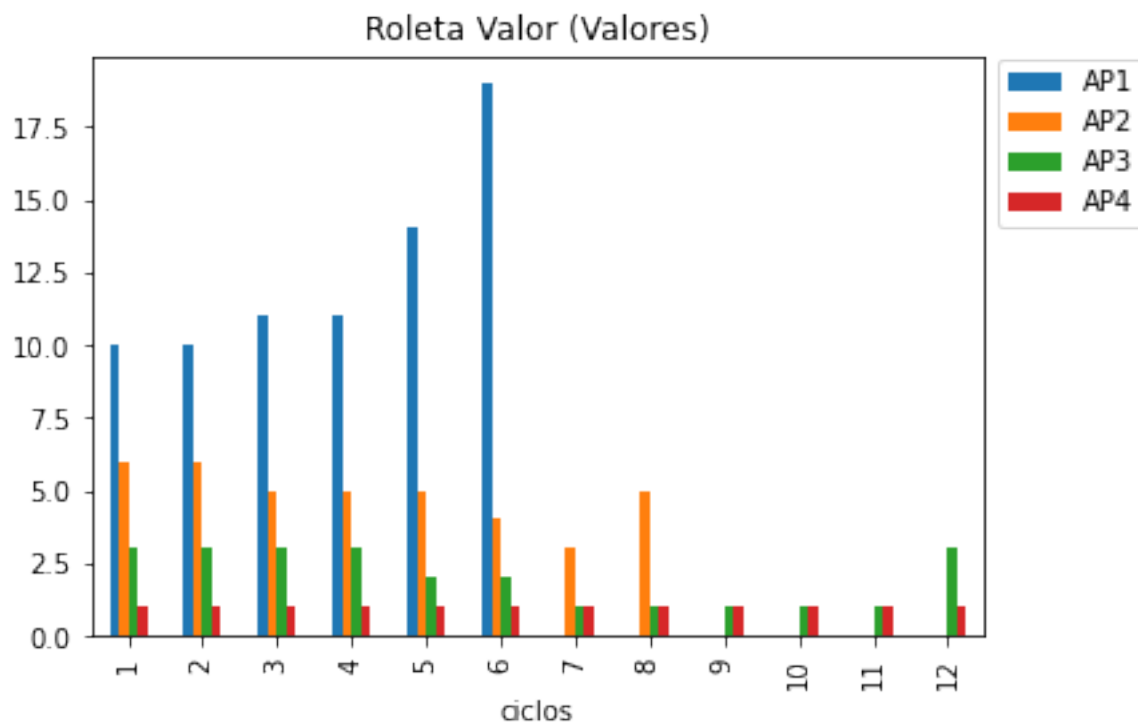
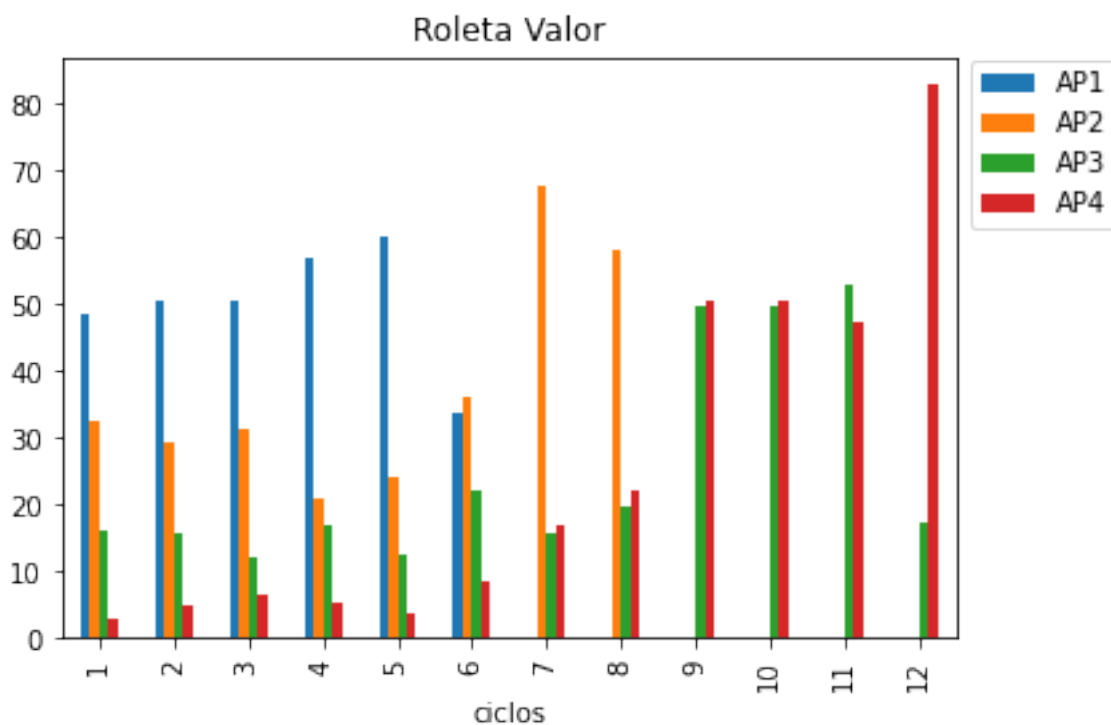


Figura 111 – Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor



A tabela 43 de qui-quadrado com todos os valores acima de 16,27 comprova a priorização realizada.

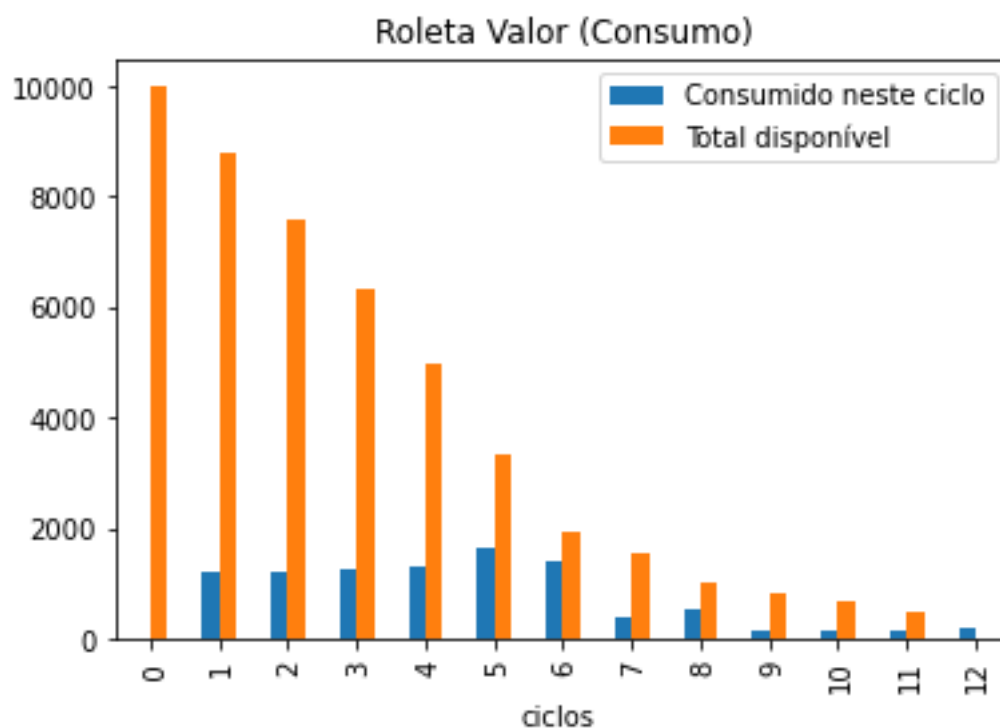
Tabela 43 – Cenário 4: (roleta Valor) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	46,73
2	46,25
3	47,45
4	59,41
5	73,21
6	19,05
7	104,08
8	70,20
9	100
10	100
11	100,58
12	186,18

Fonte: o autor.

Nesta simulação, assim como nas anteriores já demonstradas, os recursos compartilhados não terminaram antes da execução dos 12 ciclos (figura 112).

Figura 112 – Cenário 3: Consumo x disponibilidade na roleta Valor



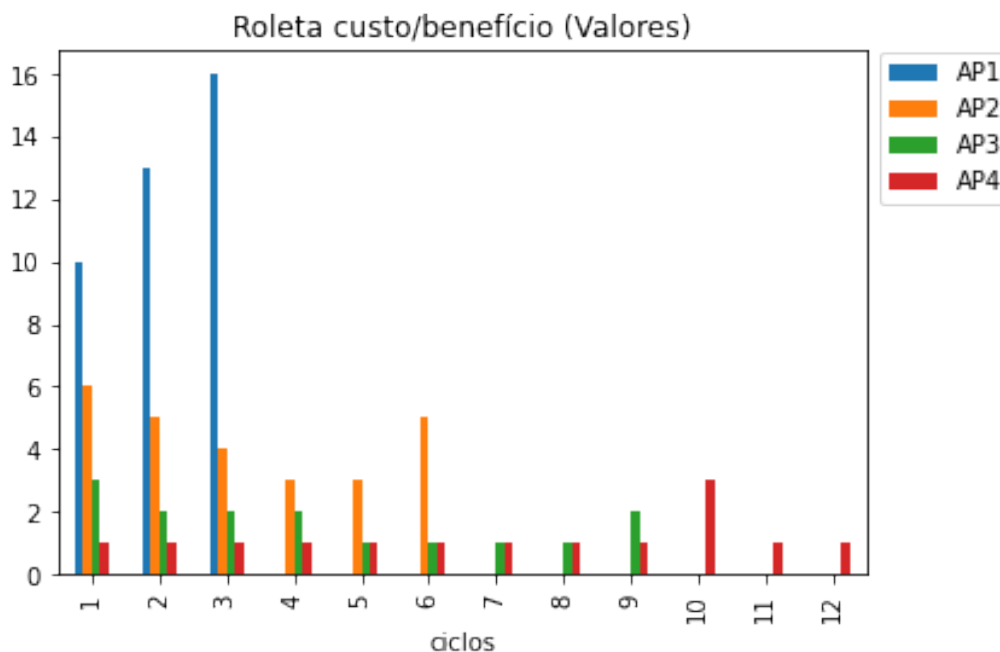
Fonte: o autor.

D.6 CENÁRIO C4: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO

A figura 113 mostra os valores calculados para as APs. A priorização ocorreu nos valores de cada AP. A priorização das ações também aparece na figura 114. A AP₁ foi executada

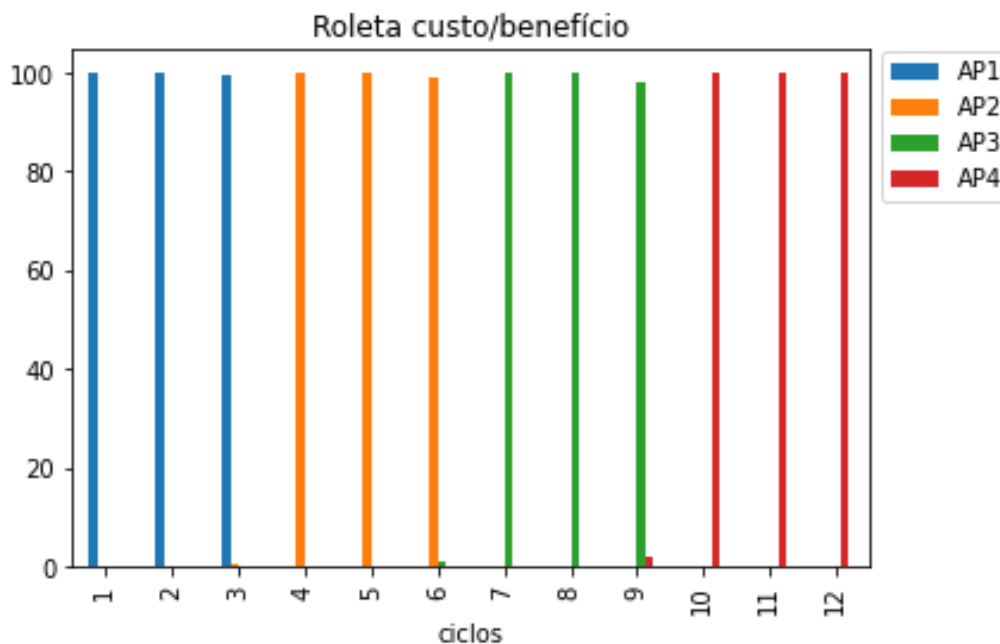
até o 6º ciclo, quando a AP₂ começou a ser priorizada até terminar as suas unidades no 6º ciclo. No 9º ciclo a AP₃ terminou, quando então a AP₄ foi totalmente consumida.

Figura 113 – Cenário 4: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

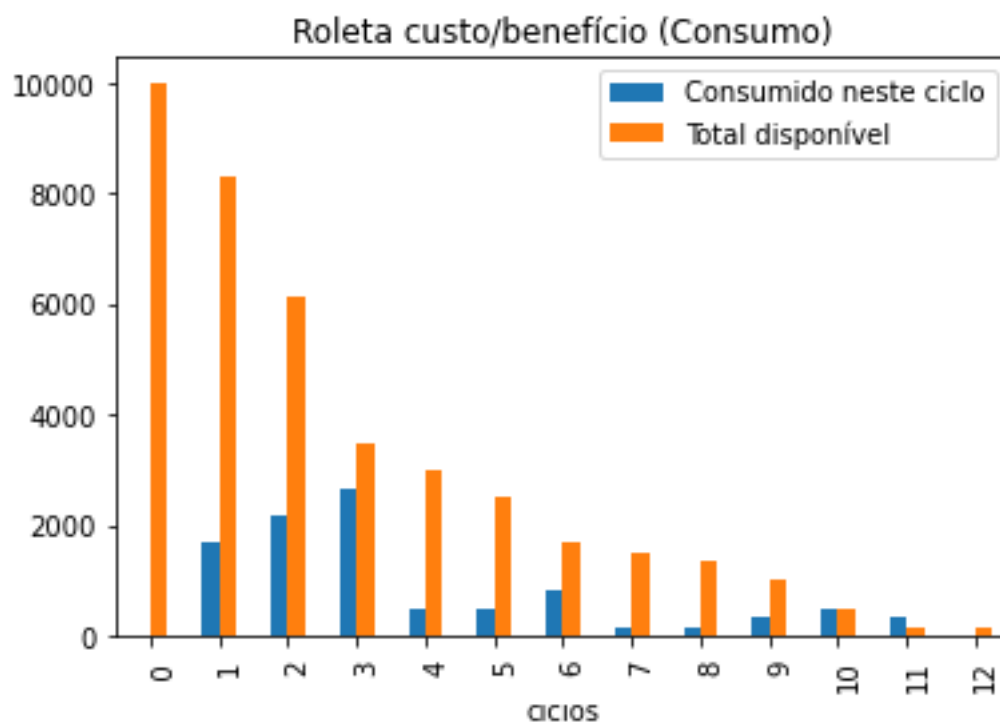
Figura 114 – Cenário 4: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

A figura 115 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi maior inicialmente, devido ao valor alto da AP₁ e sua priorização, mas os recursos foram consumidos até o 12º ciclo.

Figura 115 – Cenário 4: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

APÊNDICE E – CENÁRIO C5

Este cenário foi executado com a configuração descrita na tabela 44.

Tabela 44 – Configuração do cenário 5

	AP1	AP2	AP3	AP4
Quantidade	1500	200	150	150
Prioridade (%)	60	10	10	10
Custo	1.3	2	5	10

Fonte: o autor.

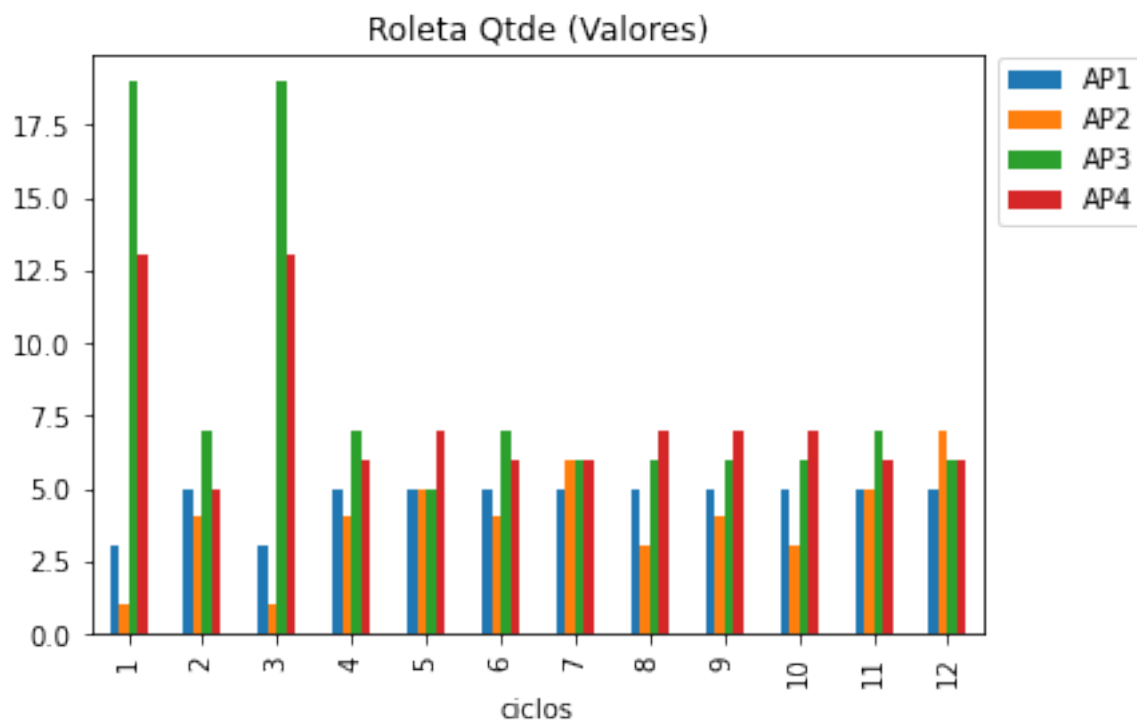
Neste cenário, além das ações possuírem quantidades diferentes, AP1 possui maior prioridade que as demais. Isto significa que é desejado que esta ação seja executada antes das demais ações.

Para cada roleta foram executados 12 ciclos, cada ciclo recalcula, utilizando a metaheurística TLBO, o valor de cada ação conforme a quantidade de unidades disponíveis de cada ação positiva e das unidades ainda não consumidas de recursos compartilhados. A informação *custo* é utilizada apenas pela roleta custo-benefício.

E.1 CENÁRIO C5: ROLETA QUANTIDADE

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 116. É interessante perceber que a AP₁ mesmo tendo uma prioridade bem maior que as demais APs, não teve um valor maior calculado. Isto ocorreu por que esta ação também tem uma quantidade disponível maior que as demais.

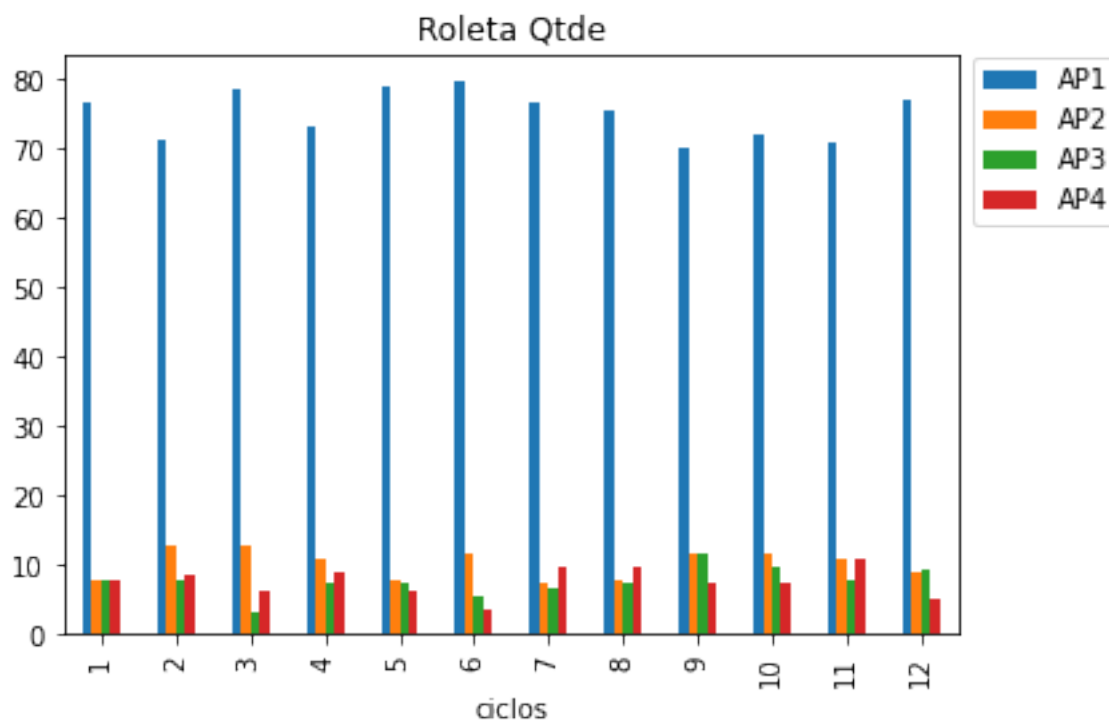
Figura 116 – Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade



Fonte: o autor.

Durante a execução das ações, a AP₁ foi priorizada em todos os ciclos, conforme pode ser visto na figura 117. A tabela 45 com os valores qui-quadrado acima de 16,27 (99,9% de probabilidade) reforça esta conclusão.

Figura 117 – Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade



Fonte: o autor.

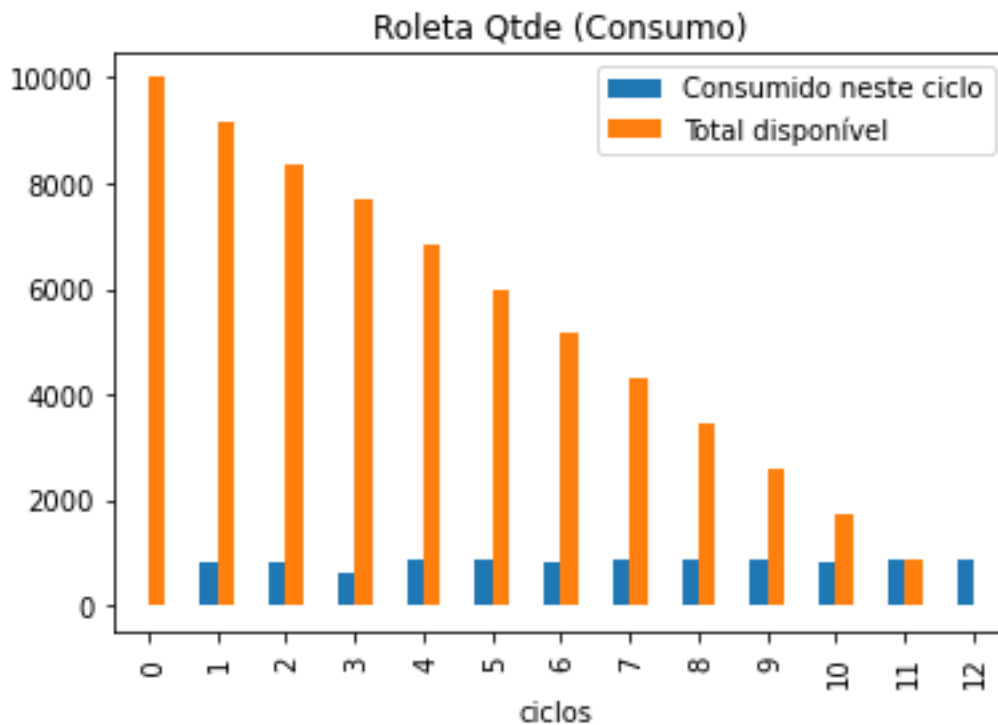
Tabela 45 – Cenário 5: (roleta Quantidade) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	142,26
2	114,66
3	154,25
4	123,41
5	155,82
6	160,56
7	142,46
8	135,86
9	108,75
10	117,44
11	112,42
12	144,75

Fonte: o autor.

Como desejado, os recursos compartilhados disponíveis para consumo não terminaram antes dos 12 ciclos (figura 118).

Figura 118 – Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade

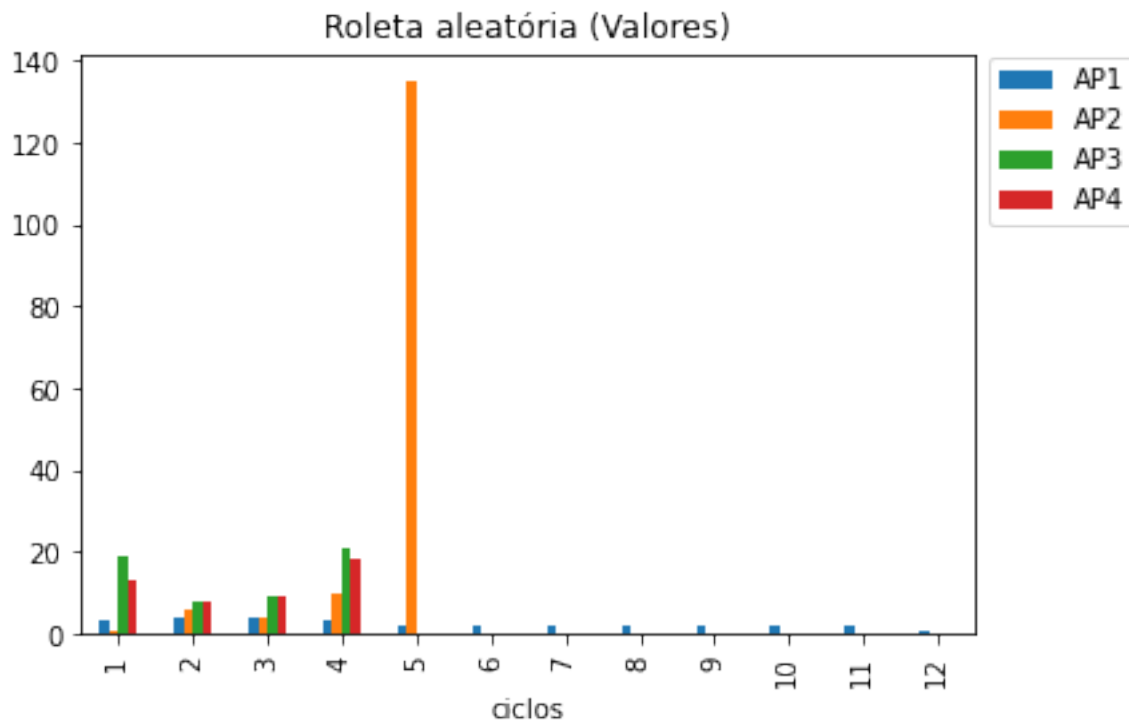


Fonte: o autor.

E.2 CENÁRIO C5: ROLETA ALEATÓRIA

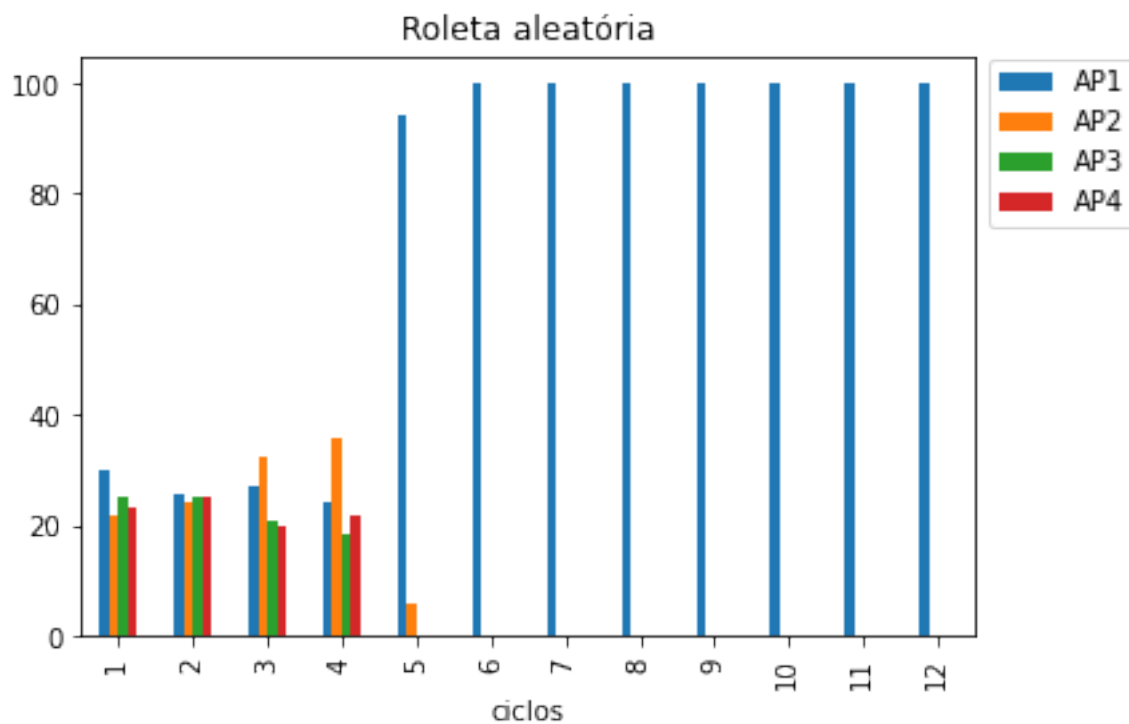
Na figura 119 estão os valores calculados pela metaheurística TLBO para as APs para os 12 ciclos. No 5o ciclo, restavam poucas unidades para a AP₂, por isso o seu valor calculado foi bem maior que o AP₁. No 6o ciclo em diante, por só haver a AP₁ disponível, o seu valor calculado foi bem menor, por não haver a concorrência com outras APs.

Figura 119 – Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

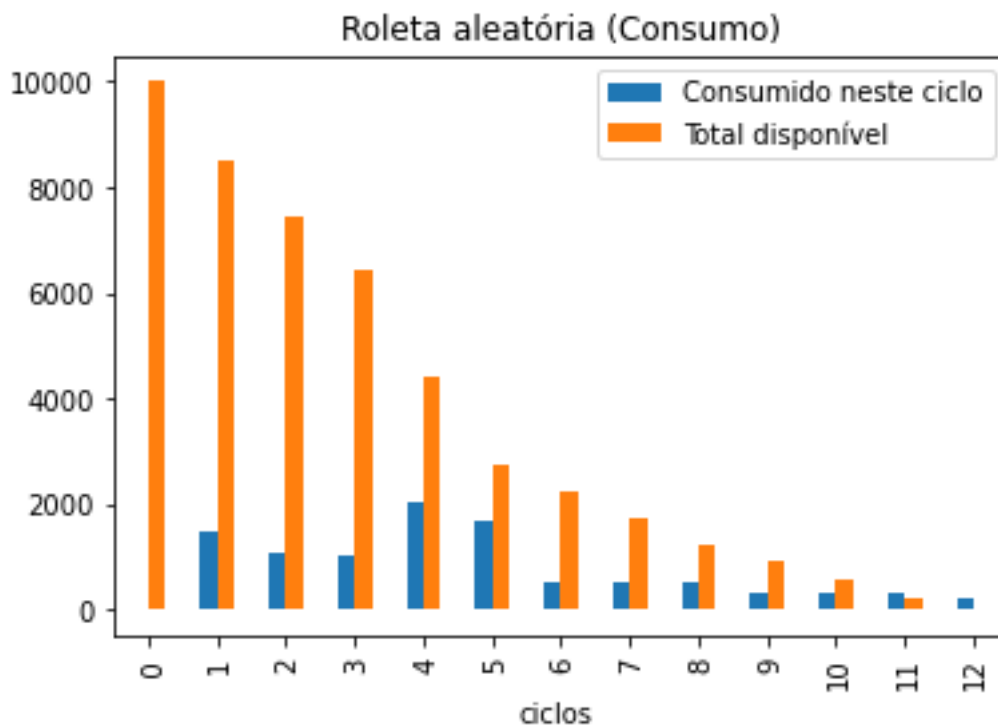
Na figura 120 é possível visualizar que não houve priorização nos 4 primeiros ciclos, enquanto haviam unidades de todas as APs para serem executadas. Com o fim das unidades do AP₂ no 5o ciclo 5, apenas a AP₁ estava disponível para ser executada neste e nos ciclos restantes.

Figura 120 – Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória

Fonte: o autor.

Na figura 121 mostra que, também nesta simulação, os recursos compartilhados não foram exauridos antes do último ciclo.

Figura 121 – Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória

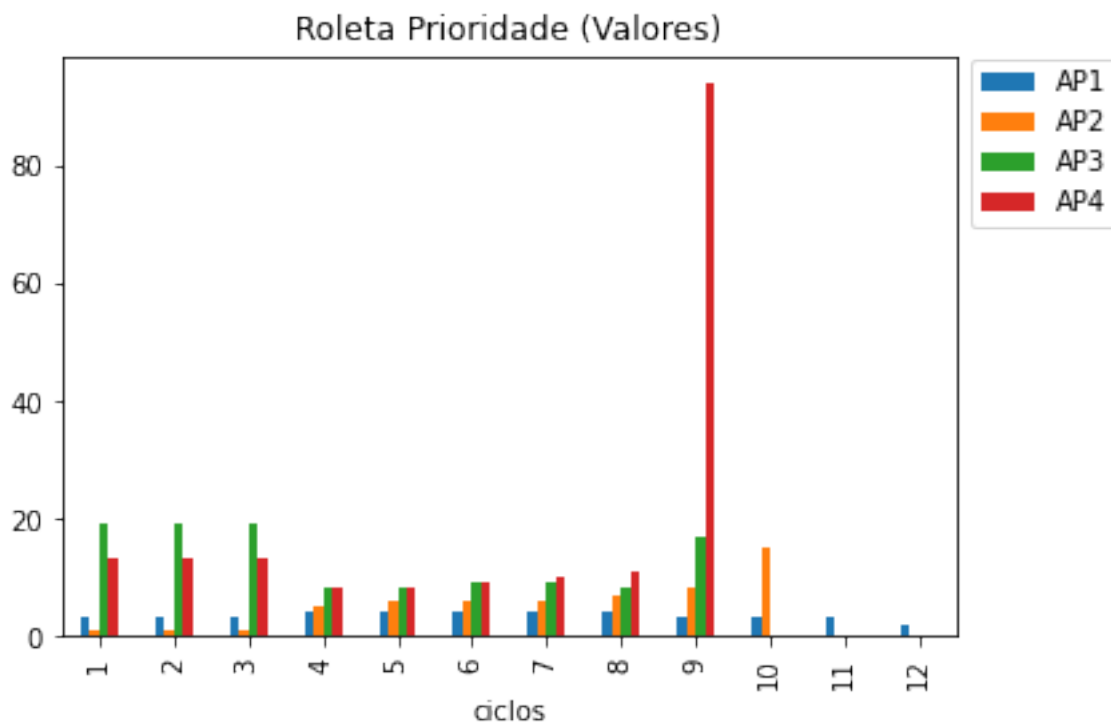


Fonte: o autor.

E.3 CENÁRIO C5: ROLETA PRIORIDADE

É possível observar, na figura 122, que a AP_1 não teve um valor mais alto que os demais, mesmo tendo uma priorização mais alta. Isso ocorreu por ter uma quantidade disponível bem maior que as demais.

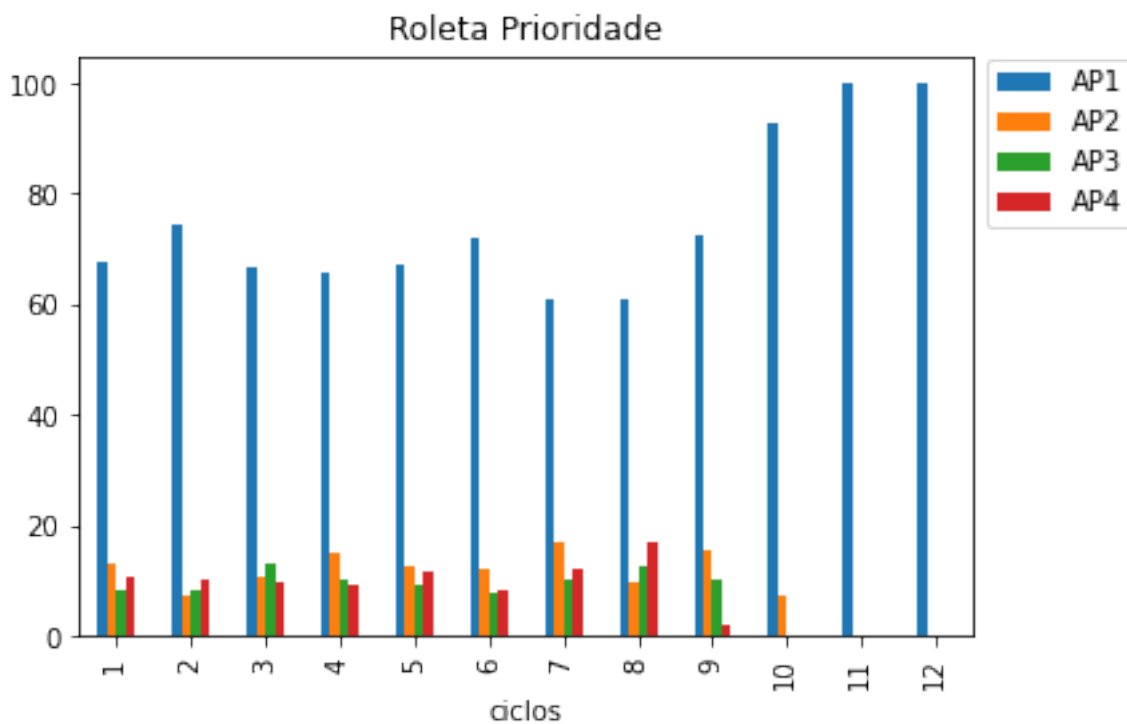
Figura 122 – Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

A figura 123 mostra que a AP₁ foi priorizada como desejado em todos os ciclos. No 9º ciclo, esgotou-se a disponibilidade das AP₃ e AP₄.

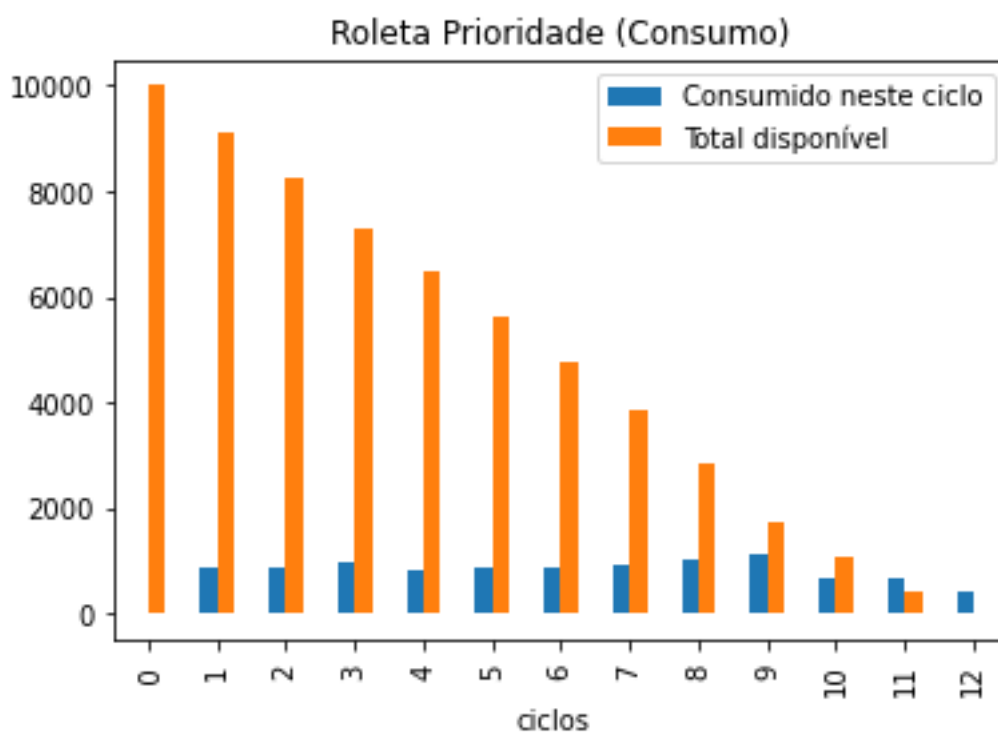
Figura 123 – Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

A figura 124 mostra que o consumo dos recursos manteve-se estável até o último ciclo.

Figura 124 – Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade

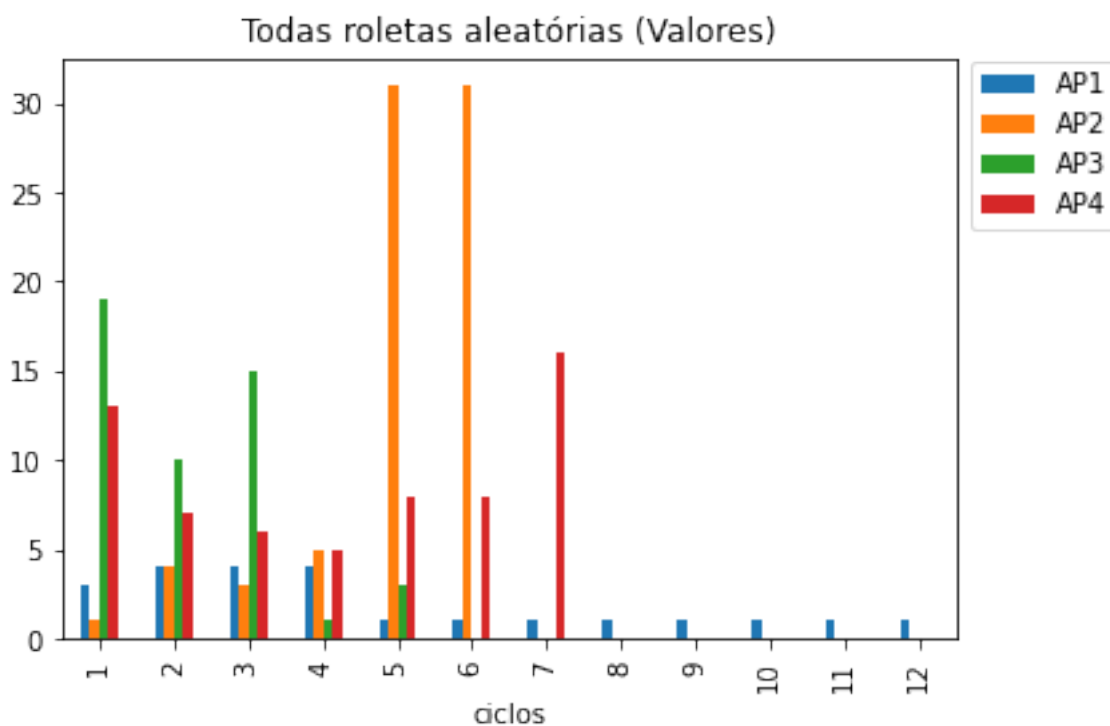


Fonte: o autor.

E.4 CENÁRIO C5: TODAS ALEATÓRIAS

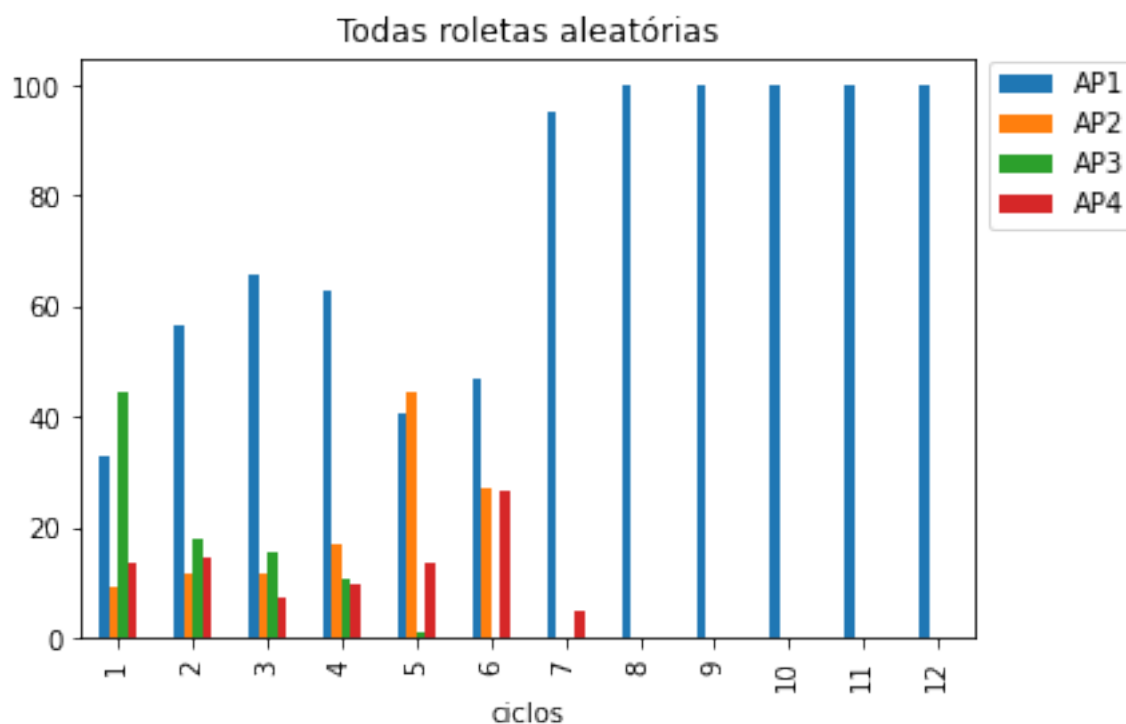
A figura 125 mostra os valores calculados pela metaheurística TLBO para as APs durante os 12 ciclos. No 1º ciclo o TLBO gerou um valor alto para a AP₃, fazendo com que a AP₁ não fosse a ação mais executada neste ciclo (figura 126). Nos ciclos 5 e 6 a AP₂ teve um valor calculado bem maior que as demais APs. Isto demonstra que a priorização pode não acontecer como esperado quando a quantidade disponível for muito diferente das demais ações.

Figura 125 – Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

Figura 126 – Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

A tabela 46 com os valores qui-quadrado maiores que 16,27 mostra que houve priorização.

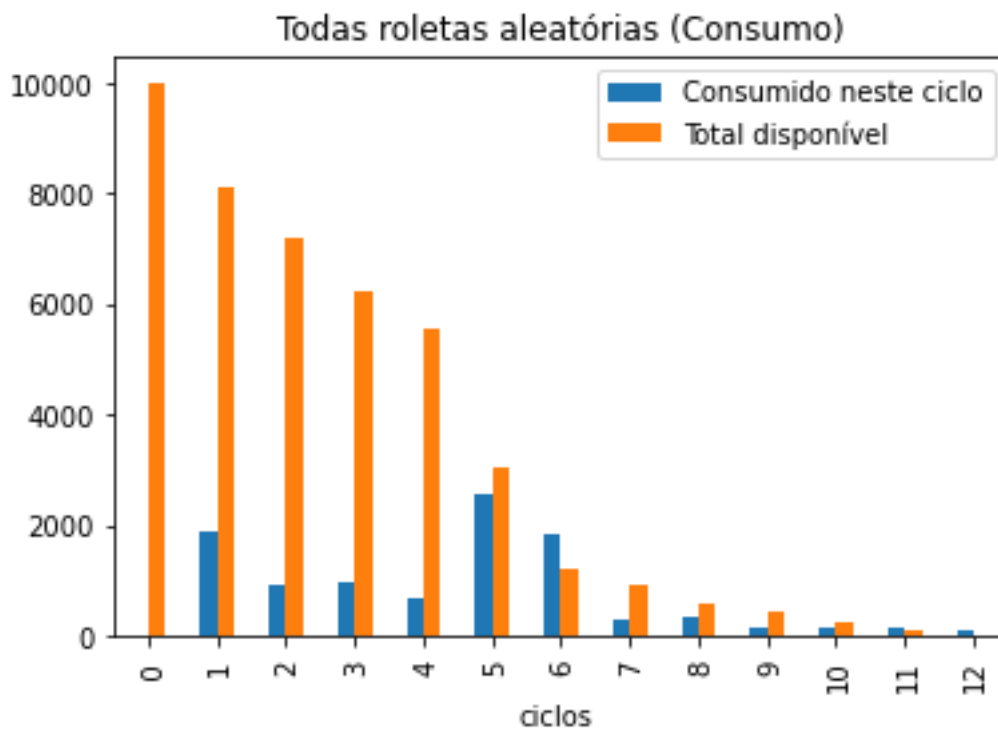
Tabela 46 – Cenário 5: (roleta Todas Aleatórias) qui-quadrado

Ciclo	Qui-quadrado
1	32,74
2	53,07
3	90,48
4	77,69
5	52,50
6	44,07
7	263,51
8	300
9	300
10	300
11	300
12	300

Fonte: o autor.

A figura 127 mostra como foi consumido mais recursos nos 1º, 5º e 6º ciclos, mas que mesmo assim os recursos compartilhados não terminaram antes da execução do último ciclo.

Figura 127 – Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias

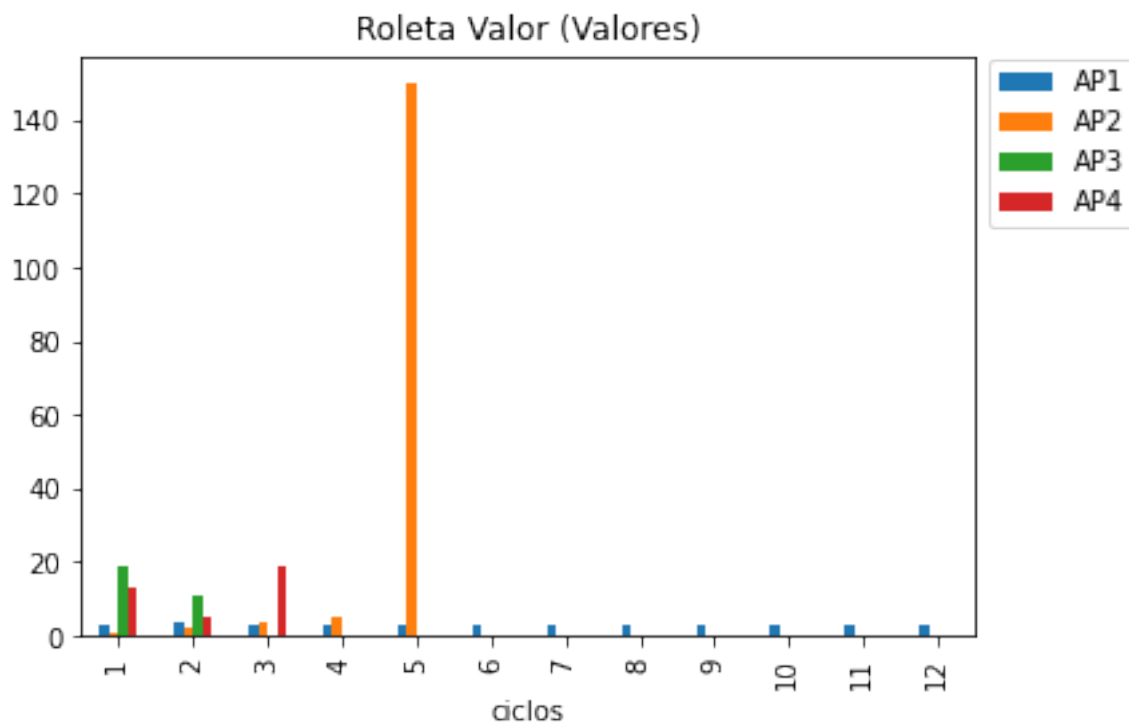


Fonte: o autor.

E.5 CENÁRIO C5: ROLETA VALOR

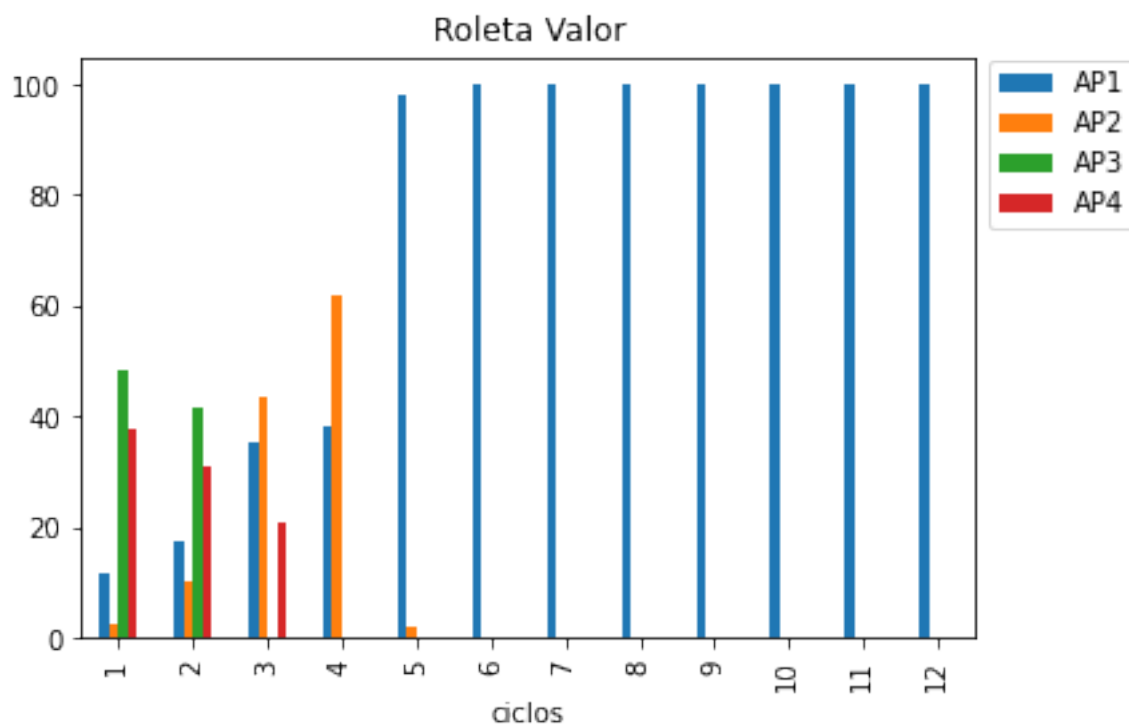
A figura 128 mostra os valores calculados para as APs em cada ciclo. Na figura 129 que mostra a execução das APs em cada ciclo, a AP₁ não é a ação mais executada nos 4 primeiros ciclos, mesmo tendo uma prioridade maior do que as demais. Isto ocorre por que, como roleta prioriza as APs com valor maior, a TLBO calcula um valor maior para as APs com menor quantidade disponível. Isto fica bem evidente no 5º ciclo, onde a AP₂ estava com poucas unidades comparado ao AP₁ e o seu valor calculado ficou muito alto.

Figura 128 – Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor



Fonte: o autor.

Figura 129 – Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor

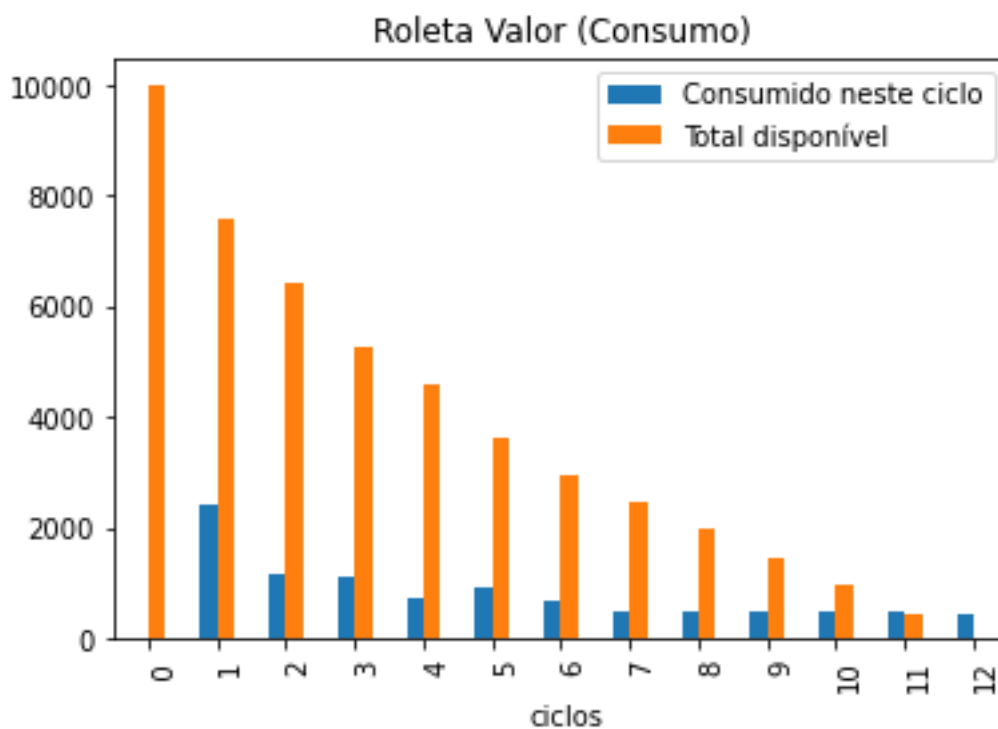


Fonte: o autor.

A figura 130, mostra que, independentemente de se a priorização ocorreu como esperado

ou não, os recursos compartilhados não terminaram antes do 12º ciclo.

Figura 130 – Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Valor

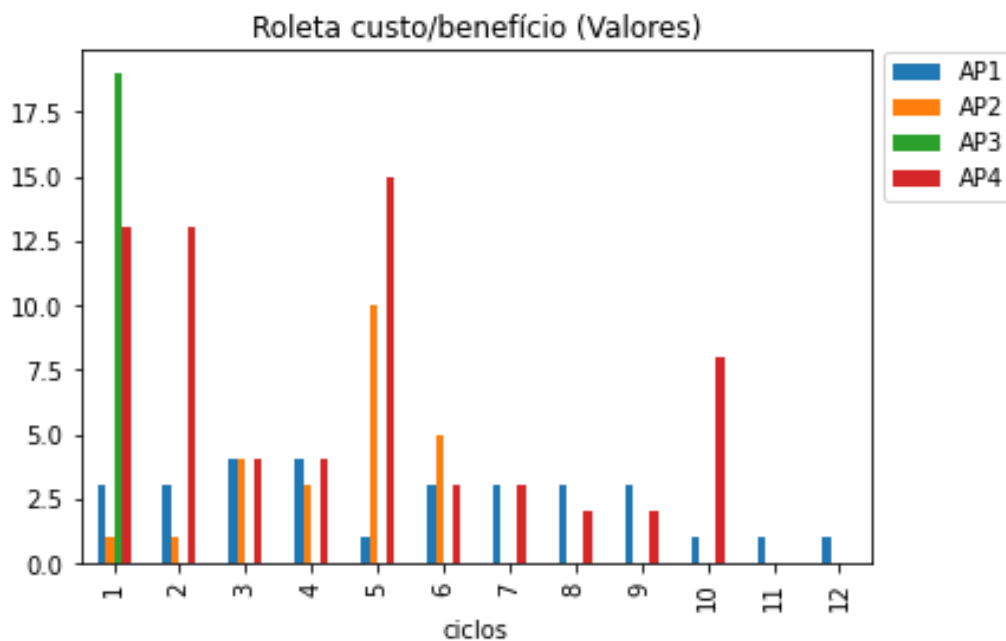


Fonte: o autor.

E.6 CENÁRIO C5: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO

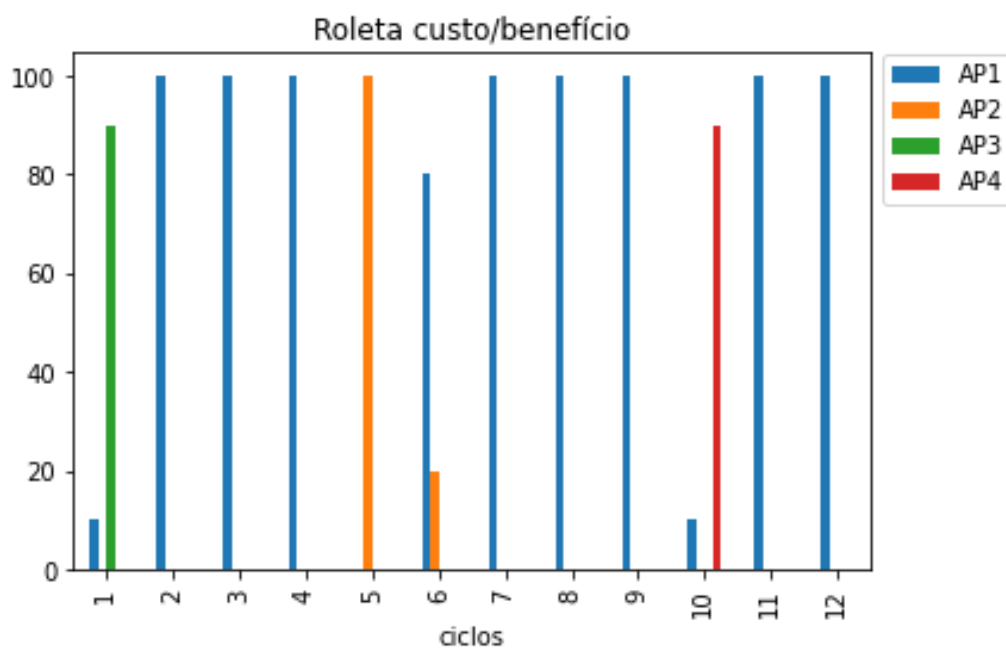
A figura 131 mostra os valores calculados para as APs. A priorização ocorreu nos valores de cada AP. A priorização das ações também aparece na figura 132. A AP₃ foi toda executada no 1º ciclo, quando a AP₁ começou a ser priorizada.

Figura 131 – Cenário 5: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício



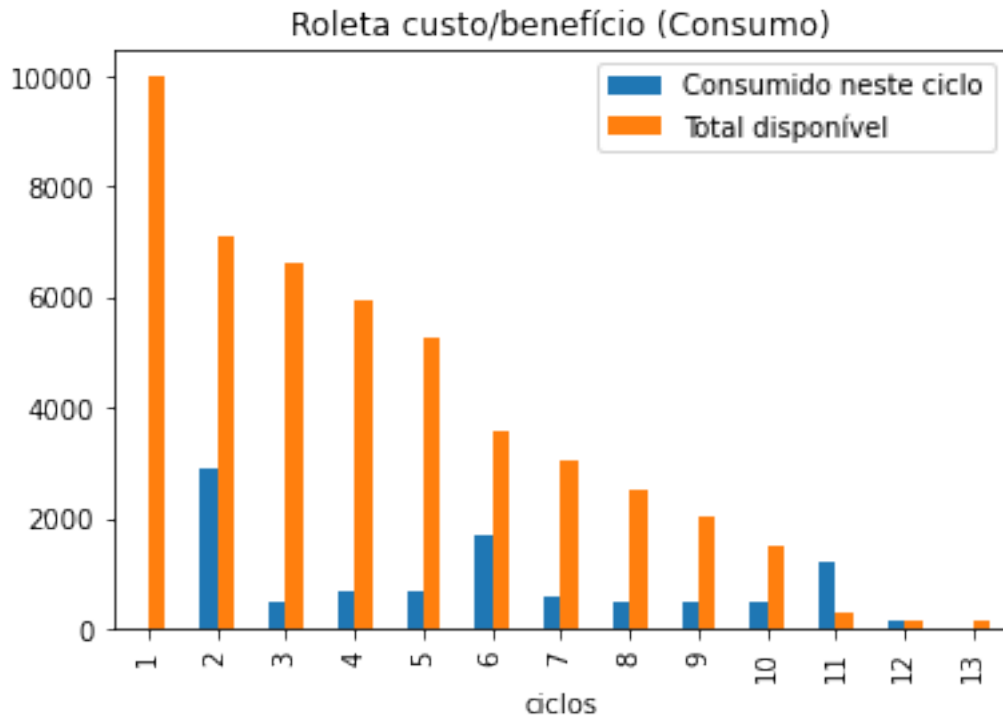
Fonte: o autor.

Figura 132 – Cenário 5: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

A figura 133 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi maior inicialmente, devido ao valor alto da AP₃ e sua priorização, mas os recursos foram consumidos até o 12º ciclo.

Figura 133 – Cenário 5: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício

Fonte: o autor.

APÊNDICE F – CENÁRIO C6

Este cenário foi executado com a configuração descrita na tabela 47.

Tabela 47 – Configuração do cenário 6

	AP1	AP2	AP3	AP4
Quantidade	1500	200	150	150
Prioridade (%)	50	30	15	5
Custo	1.3	2	5	10

Fonte: o autor.

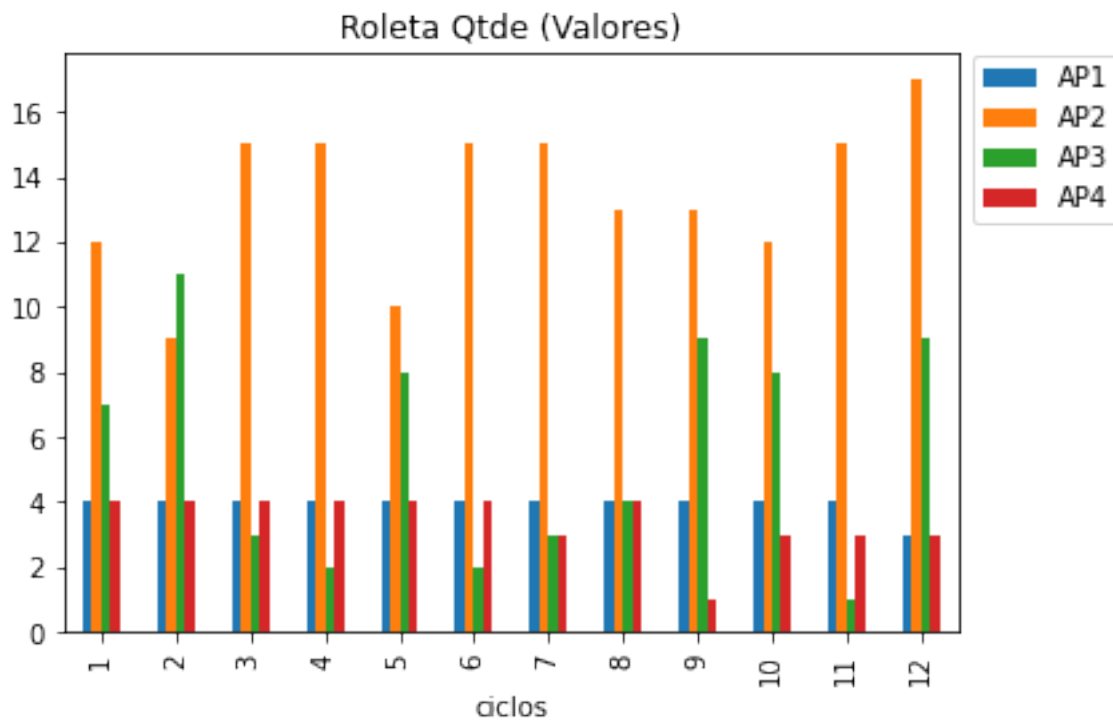
Neste cenário, além das ações possuírem quantidades diferentes, AP₁ possui maior prioridade que as demais. Isto significa que é desejado que esta ação seja executada antes das demais ações.

Para cada roleta foram executados 12 ciclos, cada ciclo recalcula, utilizando a metaheurística TLBO, o valor de cada ação conforme a quantidade de unidades disponíveis de cada ação positiva e das unidades ainda não consumidas de recursos compartilhados. A informação *custo* é utilizada apenas pela roleta custo-benefício.

F.1 CENÁRIO C6: ROLETA QUANTIDADE

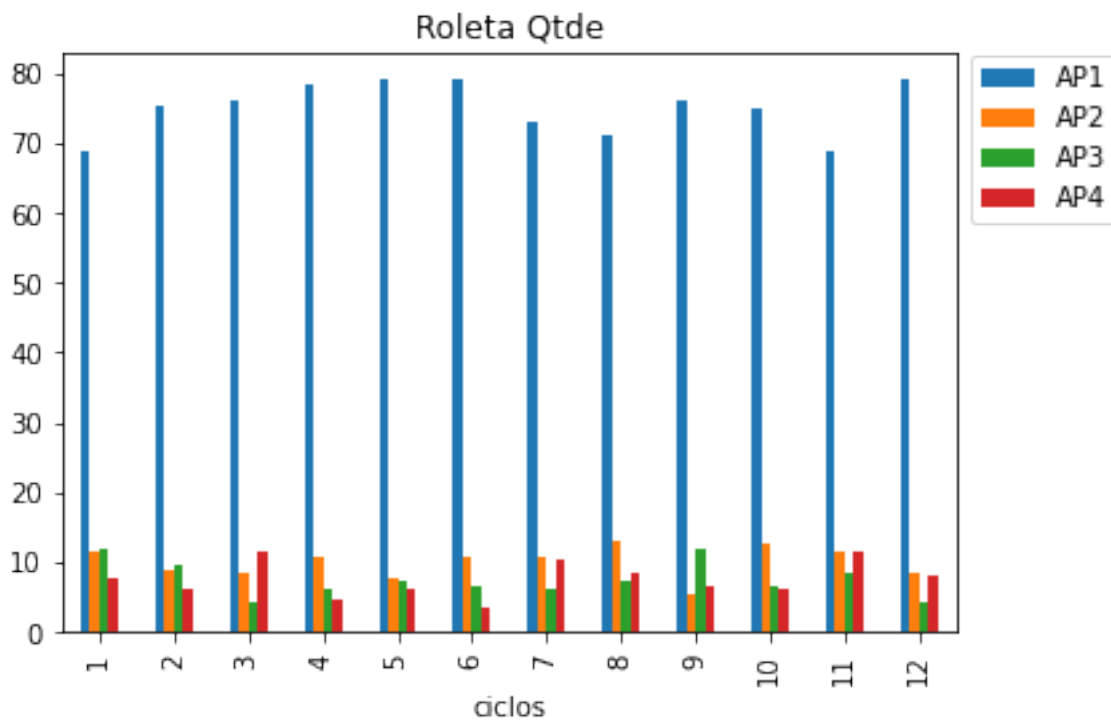
Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 134. É interessante perceber que a AP₁ mesmo tendo uma prioridade bem maior que as demais APs, não teve um valor maior calculado. Isto ocorreu por que esta ação também tem uma quantidade disponível maior que as demais. A AP₂, que possui uma prioridade maior que AP₃ e AP₄, teve um valor mais alto em 11 ciclos.

Figura 134 – Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade



Fonte: o autor.

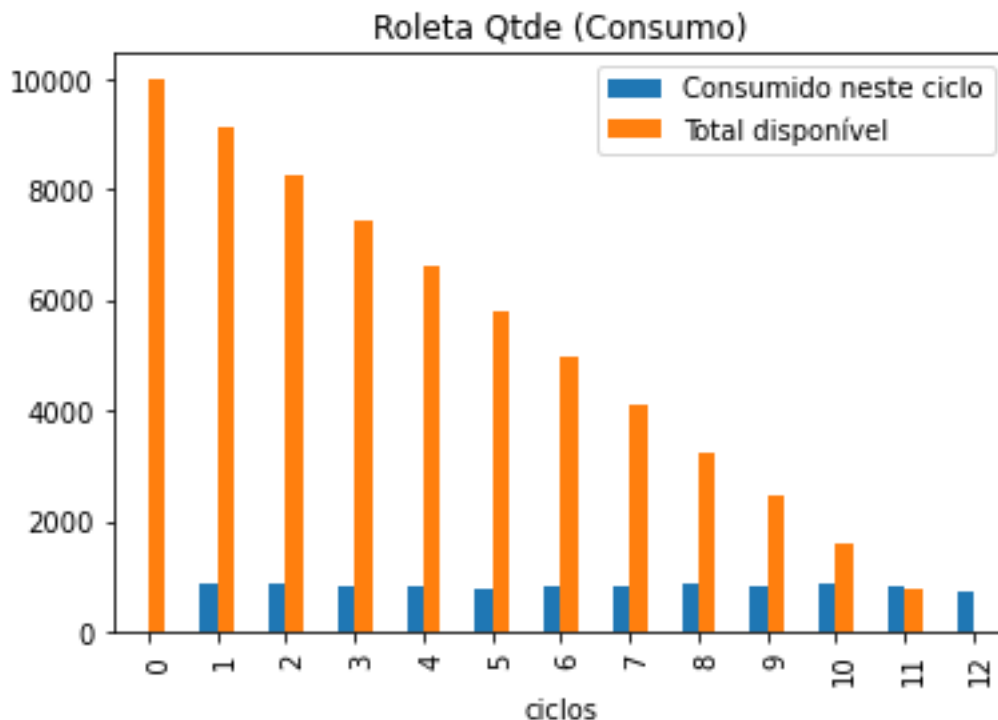
Na figura 135, que mostra a quantidade executada de APs por ciclo, é possível ver que a AP₂ foi o 2º AP mais executado em 6 dos 12 ciclos.

Figura 135 – Cenário 6: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade

Fonte: o autor.

A figura 136 mostra que o consumo dos recursos compartilhados se deu de forma homogênea em todos os ciclos.

Figura 136 – Cenário 6: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade

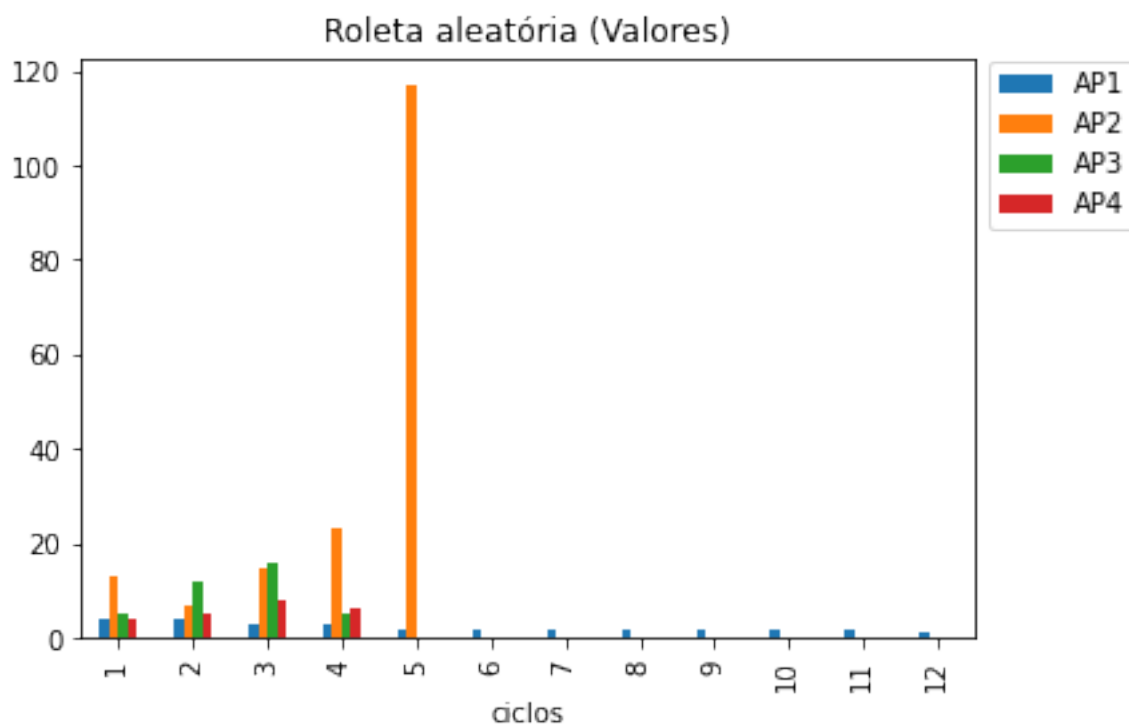


Fonte: o autor.

F.2 CENÁRIO C6: ROLETA ALEATÓRIA

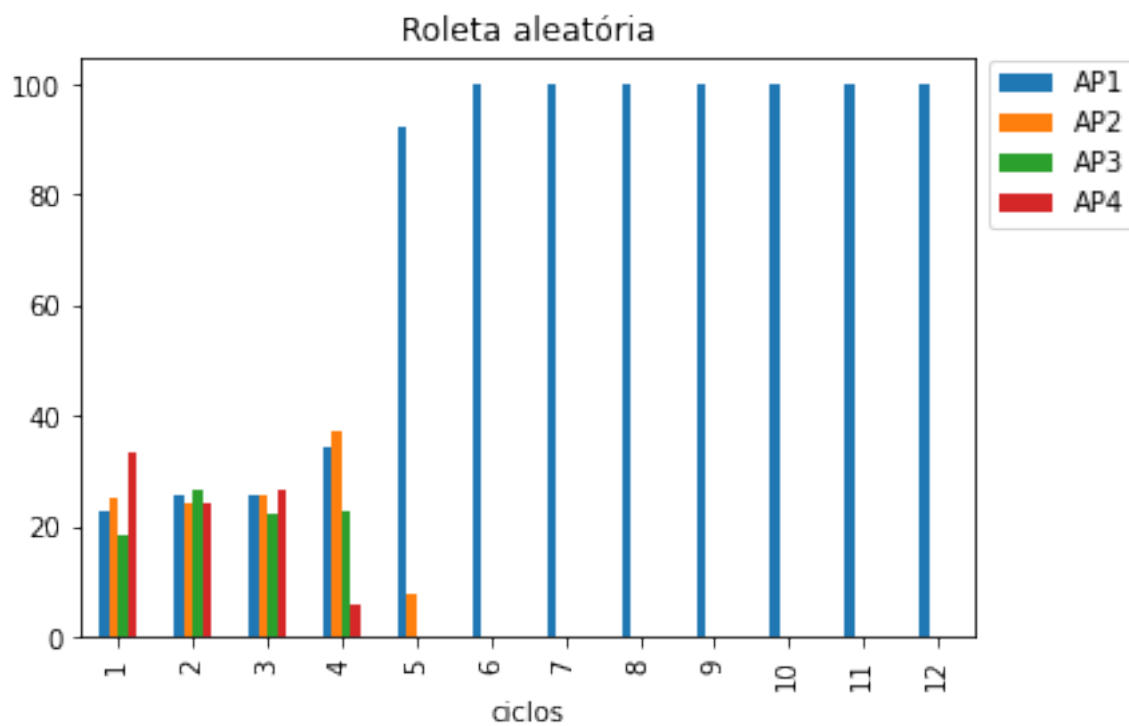
Na figura 137, que mostra como o valor calculado pela TLBO para cada AP, é possível ver que a AP₁ sempre teve o menor valor calculado, independentemente da sua prioridade. Na figura 138 percebe-se que nos 1º e 3º ciclos, não ocorreu nenhuma priorização, como esperado, pois a roleta é aleatória. No 4º ciclo terminaram as unidades das AP₃ e AP₄. No 5º ciclo terminaram as unidades da AP₂.

Figura 137 – Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

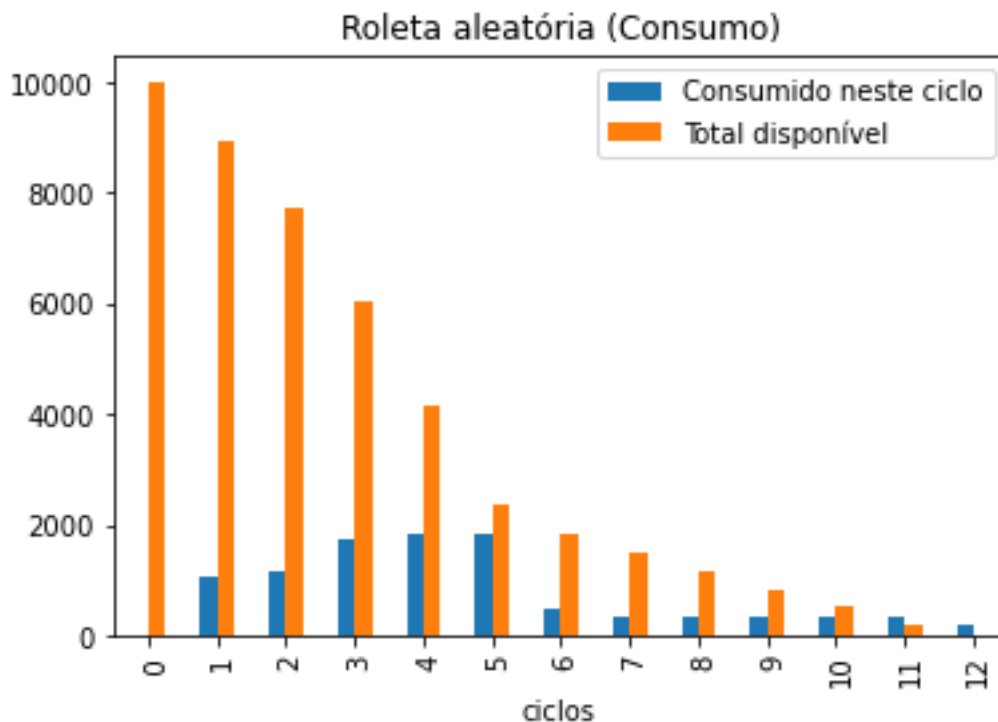
Figura 138 – Cenário 6: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

A figura 152 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi feito até o 12º ciclo, como esperado.

Figura 139 – Cenário 6: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória

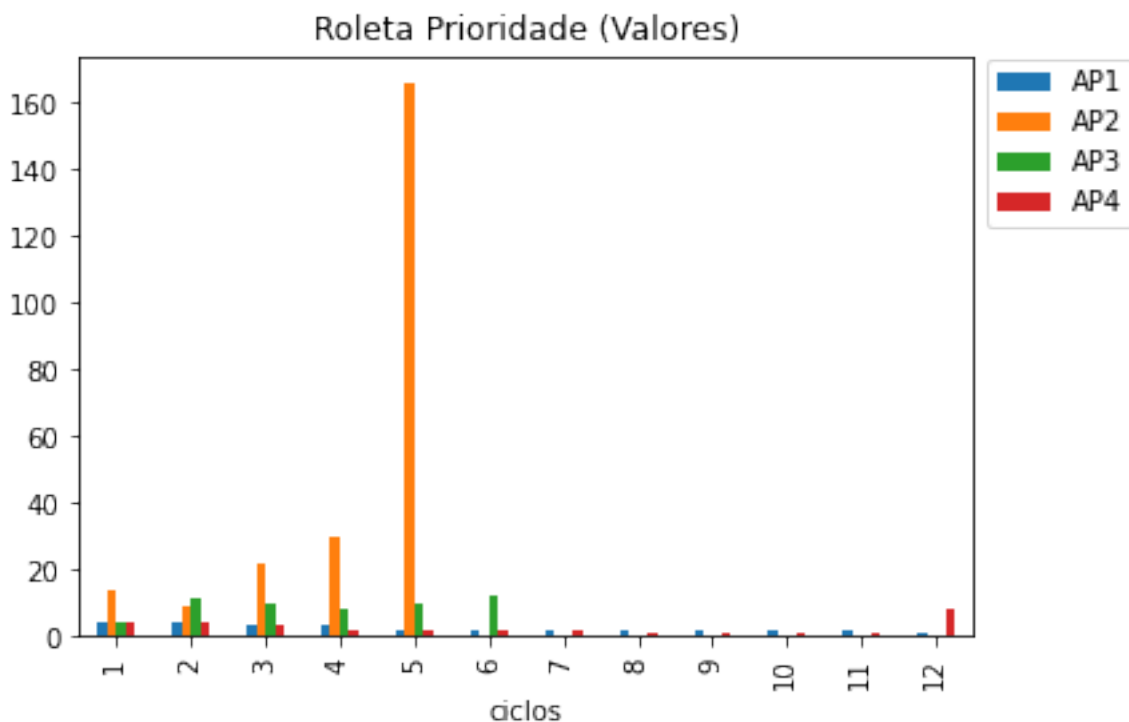


Fonte: o autor.

F.3 CENÁRIO C6: ROLETA PRIORIDADE

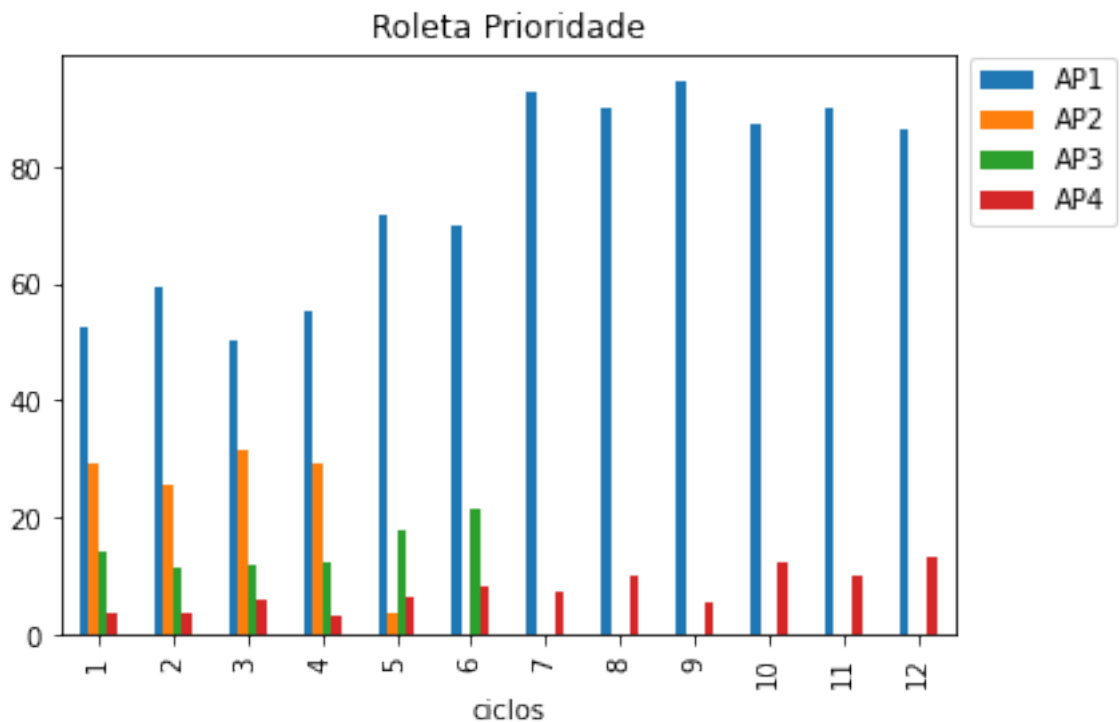
A figura 140 mostra os valores calculados pela metaheurística TLBO para as APs. A AP₁, por ter uma quantidade disponível maior que as demais APs, não teve o maior valor calculado, mesmo com a maior prioridade. No 5º ciclo a AP₂ teve um valor bem maior que nos demais ciclos. Isto ocorreu por que esta AP estava com poucas unidades disponíveis. É possível ver na figura 141 que a priorização ocorreu. Nos 1º e 4º ciclos as APs foram executadas na sua prioridade configurada. No 5º ciclo as unidades do AP₂ terminaram e no 7º ciclo terminaram as unidades do AP₃. É interessante perceber que o AP₄, com a mesma quantidade inicial do AP₃, foi executado até o 12º ciclo. Isto mostra como a priorização funciona quando as APs tem uma mesma quantidade disponível.

Figura 140 – Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

Figura 141 – Cenário 6: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade

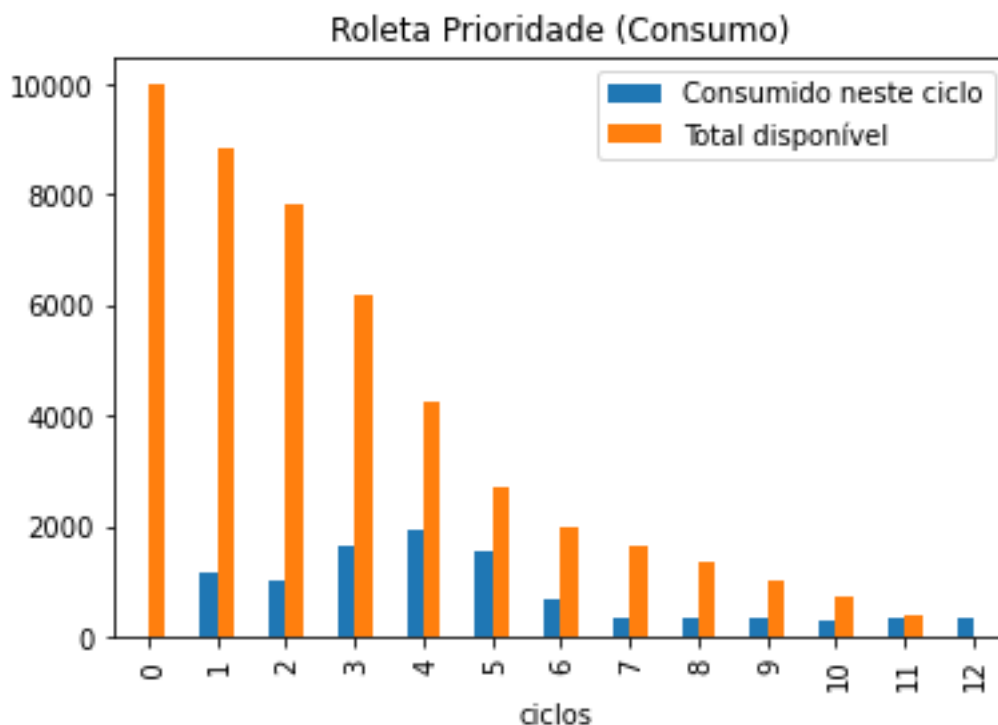


Fonte: o autor.

A figura 142 mostra que, como esperado, o consumo dos recursos compartilhados foi

feito até o último ciclo.

Figura 142 – Cenário 6: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade

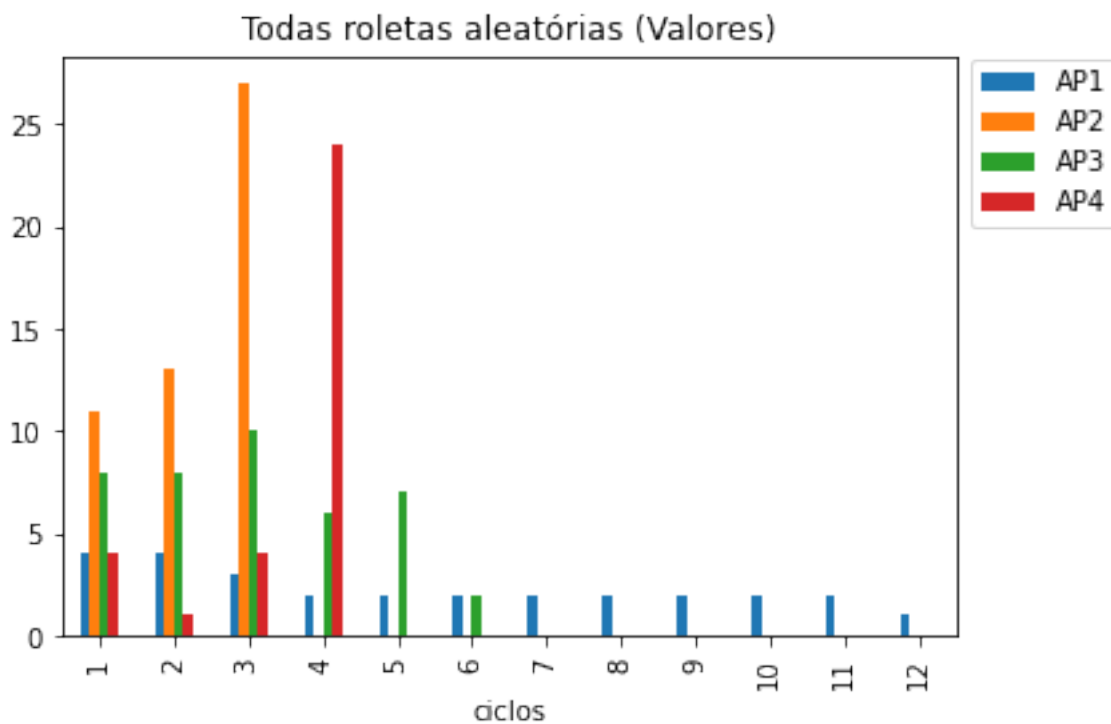


Fonte: o autor.

F.4 CENÁRIO C6: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS

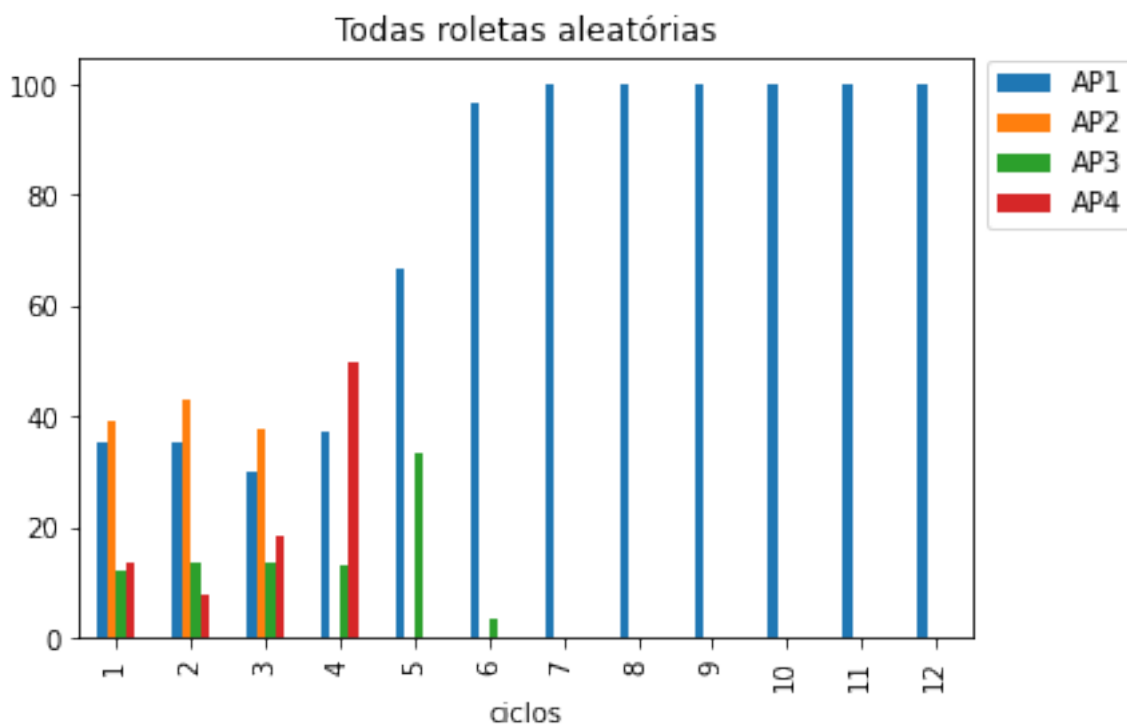
A figura 143 mostra os valores calculados para todos os ciclos. A figura 144 mostra que a AP_1 não foi a AP com a maior execução nos 4 primeiros ciclos. Nos 3 primeiros, a AP_2 foi a mais executada. No 4º ciclo, a AP_4 , que é a AP com menor prioridade foi a mais executada. Isto ocorreu por que, como as suas unidades estavam finalizando, o seu valor calculado foi muito alto, fazendo que esta fosse a AP mais escolhida pelas roletas Valor e Custo-Benefício. Isto nos mostra que um fator importante para conseguir priorizar uma AP é que ela não tenha uma quantidade disponível muito maior do que as demais.

Figura 143 – Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

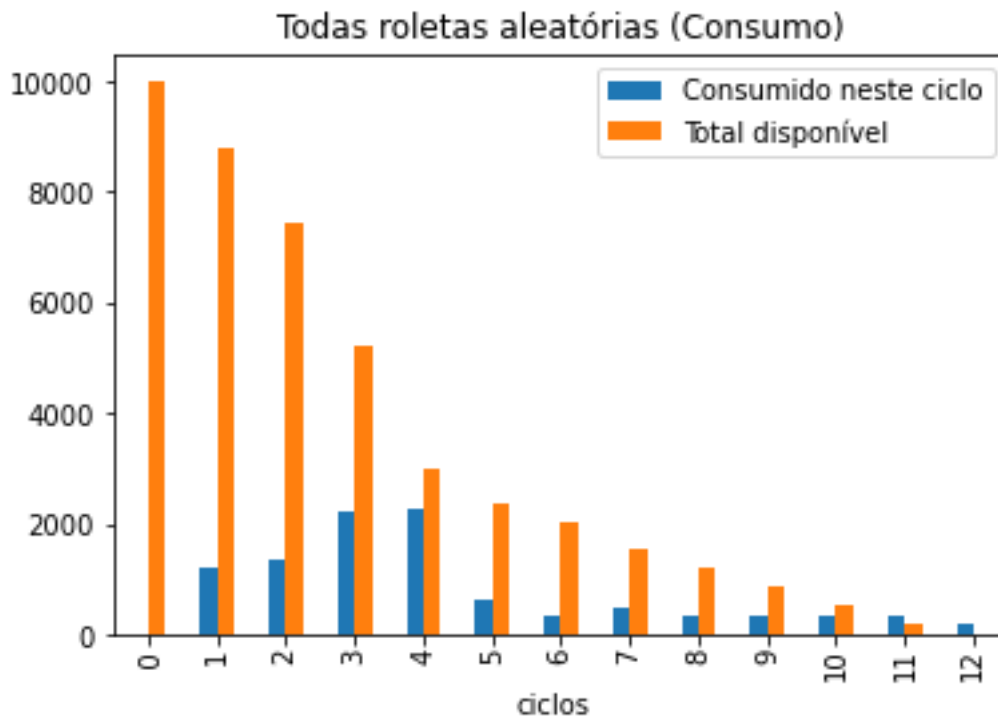
Figura 144 – Cenário 6: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

A figura 145 mostra que, mais uma vez, foi possível consumir os recursos compartilhados até o último ciclo.

Figura 145 – Cenário 6: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias

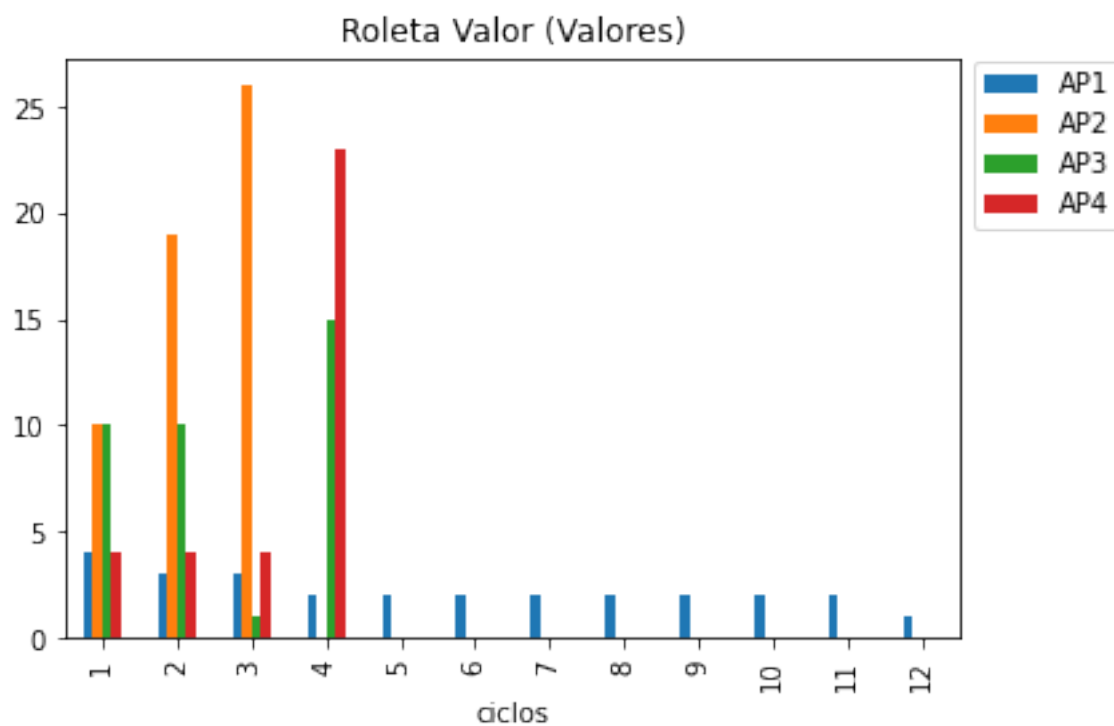


Fonte: o autor.

F.5 CENÁRIO C6: ROLETA VALOR

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 146. No usa da roleta valor a AP_1 não foi a AP mais executada apenas a partir do 4o ciclo quando a AP_2 já havia finalizado suas unidades e as AP_3 e AP_4 finalizando neste ciclo (figura ??).

Figura 146 – Cenário 6: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor



Fonte: o autor.

APÊNDICE G – CENÁRIO C7

Este cenário foi executado com a configuração descrita na tabela 48.

Tabela 48 – Configuração do cenário 7

	AP1	AP2	AP3	AP4
Quantidade	500	400	300	300
Prioridade (%)	60	10	10	10
Custo	1.3	2	5	10

Fonte: o autor.

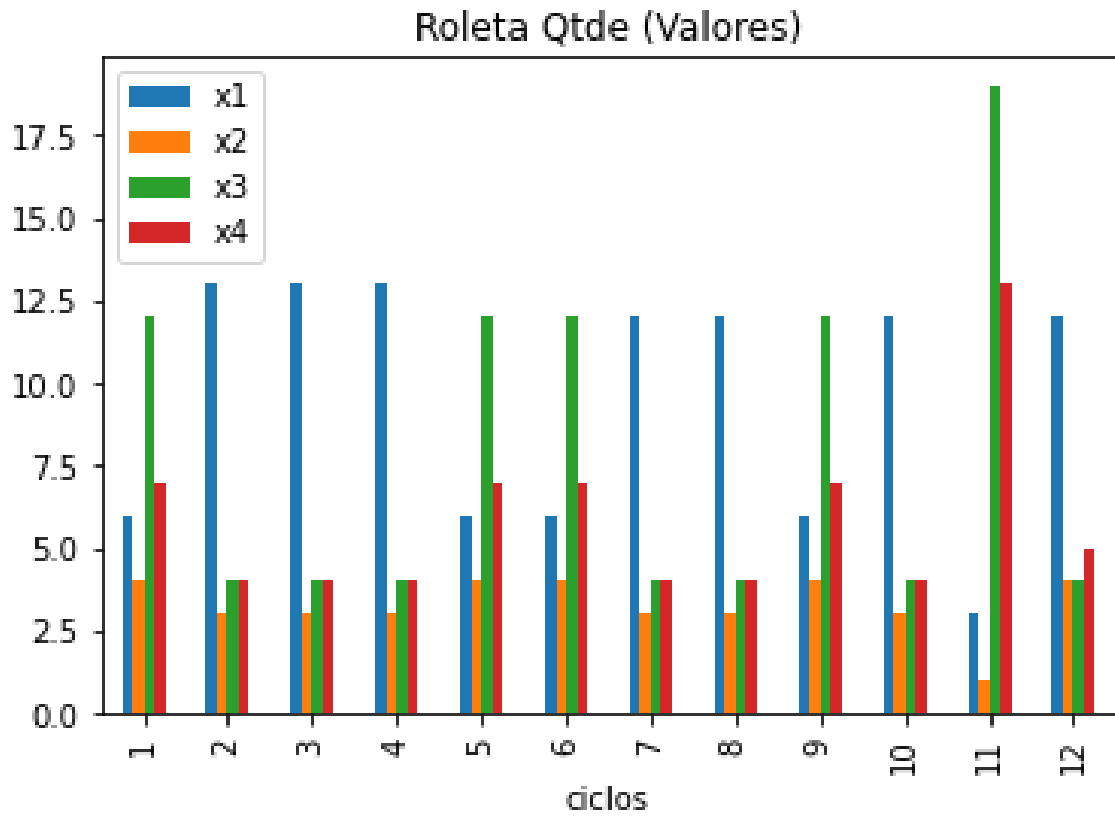
Neste cenário, além das ações possuírem quantidades diferentes, AP₁ possui maior prioridade que as demais. Isto significa que é desejado que esta ação seja executada antes das demais ações.

Para cada roleta foram executados 12 ciclos, cada ciclo recalcula, utilizando a metaheurística TLBO, o valor de cada ação conforme a quantidade de unidades disponíveis de cada ação positiva e das unidades ainda não consumidas de recursos compartilhados. A informação *custo* é utilizada apenas pela roleta custo-benefício.

G.1 CENÁRIO C7: ROLETA QUANTIDADE

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 147.

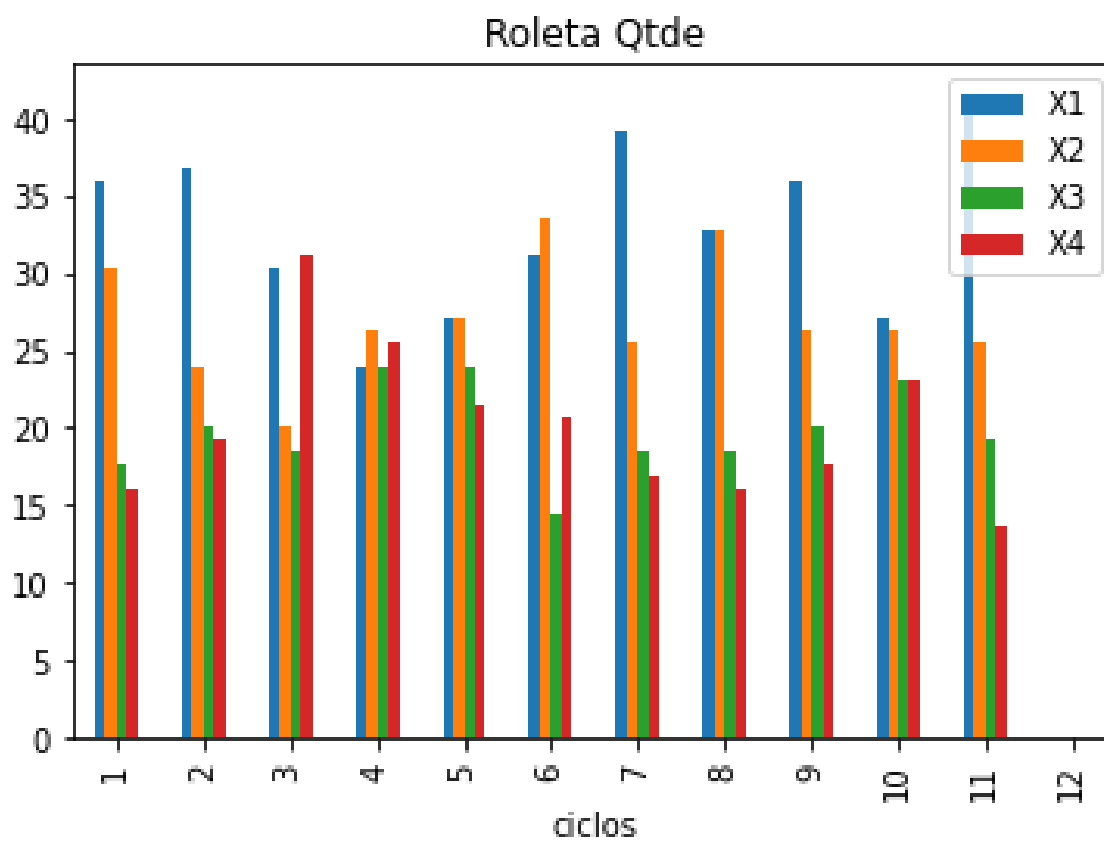
Figura 147 – Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade



Fonte: o autor.

Aa figura 148 que mostra a quantidade executada de APs por ciclo.

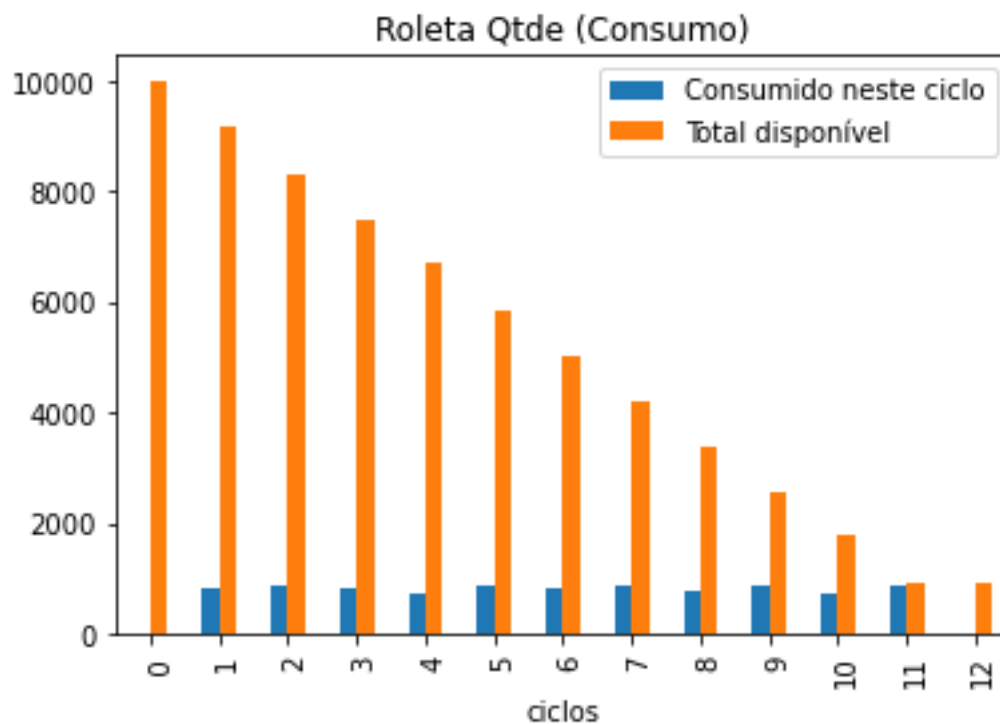
Figura 148 – Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade



Fonte: o autor.

A figura 149 mostra que o consumo dos recursos compartilhados se deu de forma homogênea em todos os ciclos.

Figura 149 – Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade

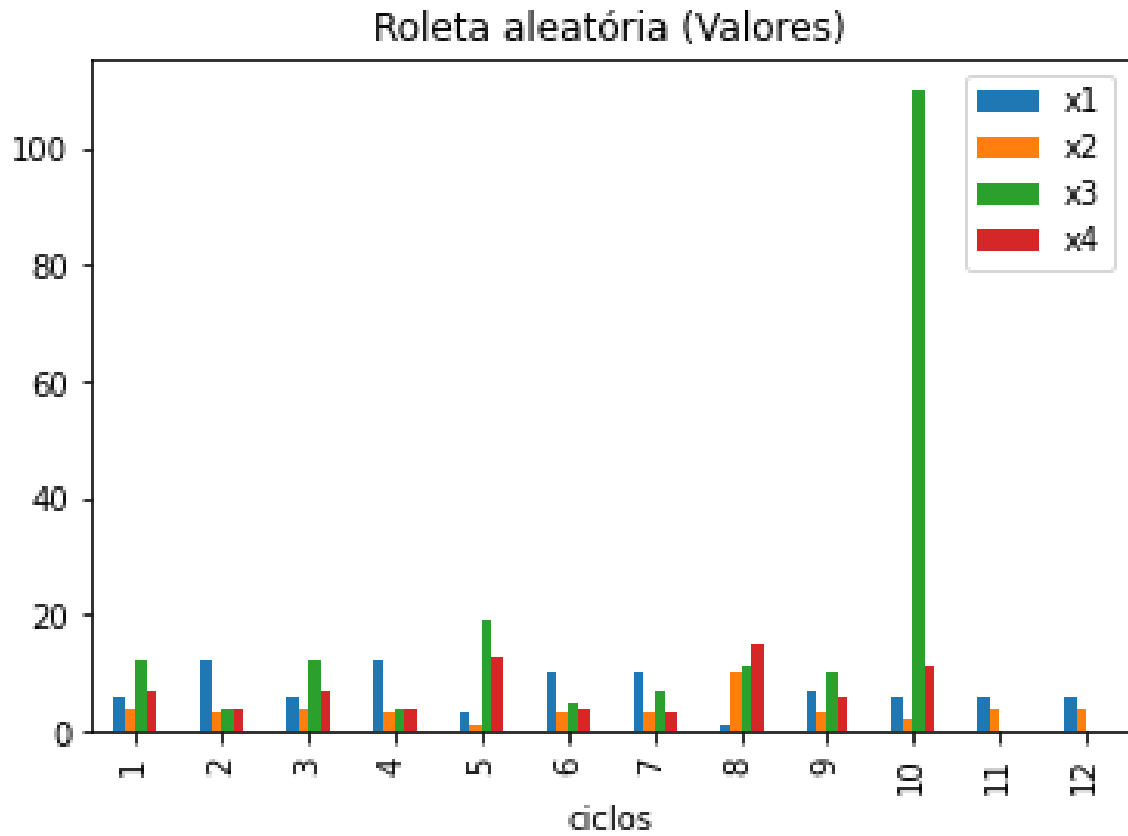


Fonte: o autor.

G.2 CENÁRIO C7: ROLETA ALEATÓRIA

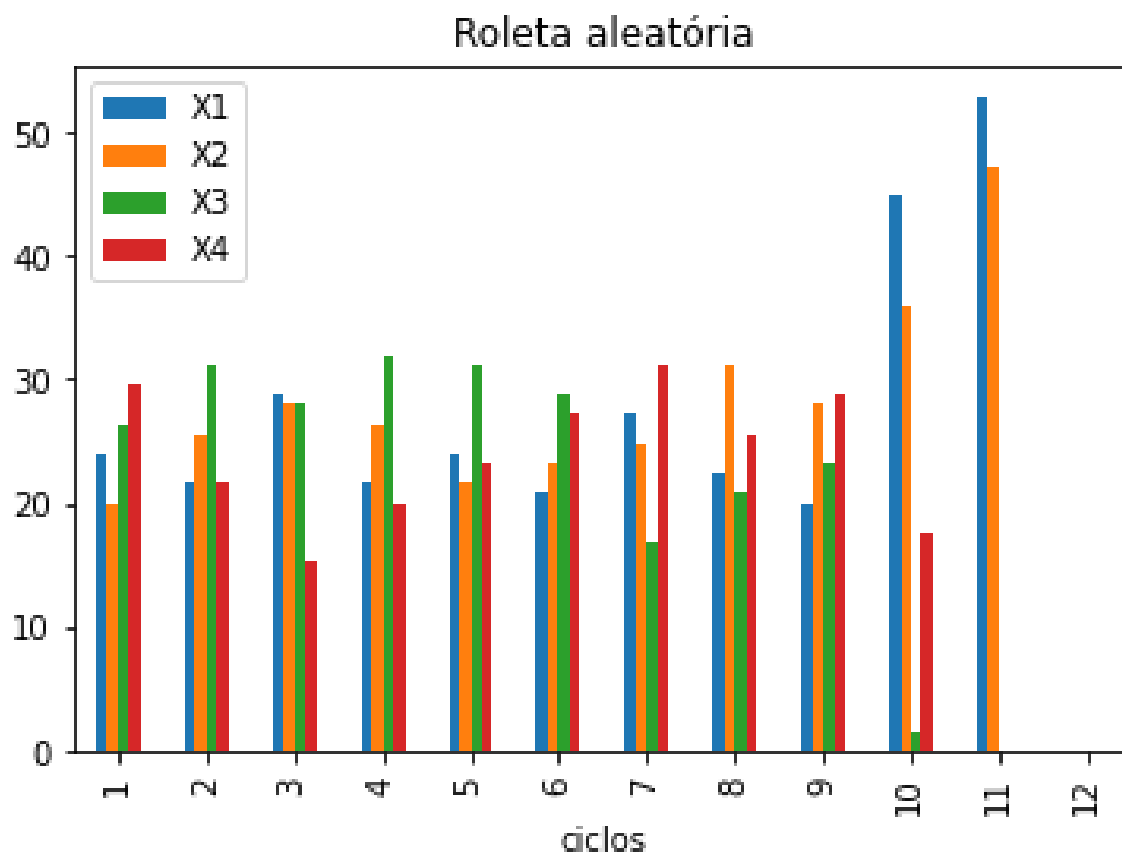
A figura 150 mostra como o valor calculado pela TLBO para cada AP.

Figura 150 – Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

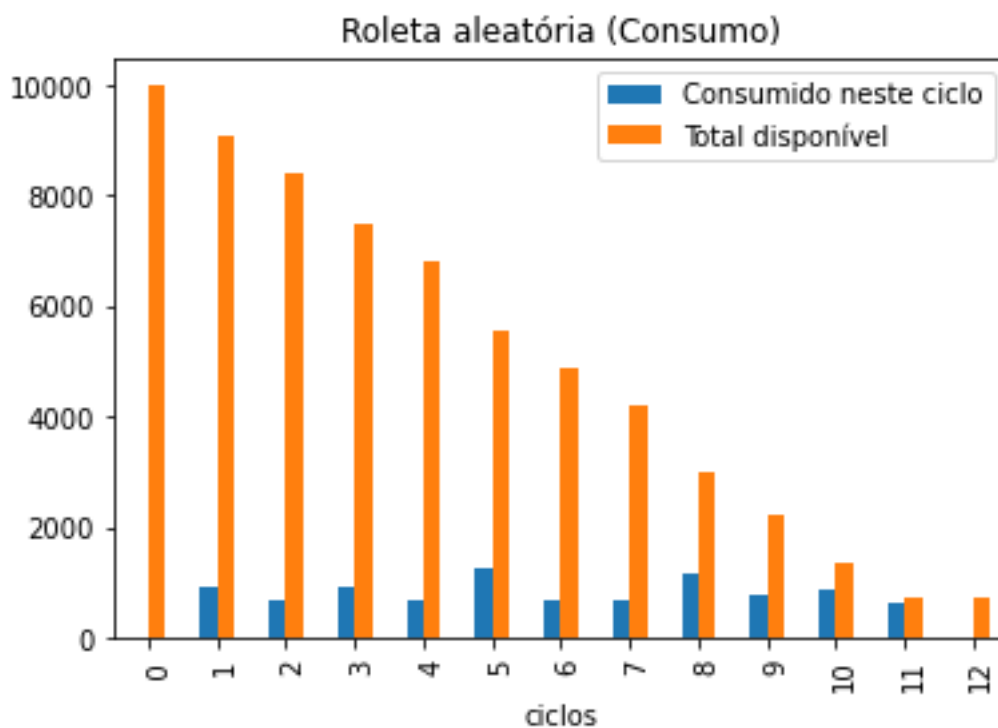
Figura 151 – Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

A figura 152 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi feito até o 12º ciclo, como esperado.

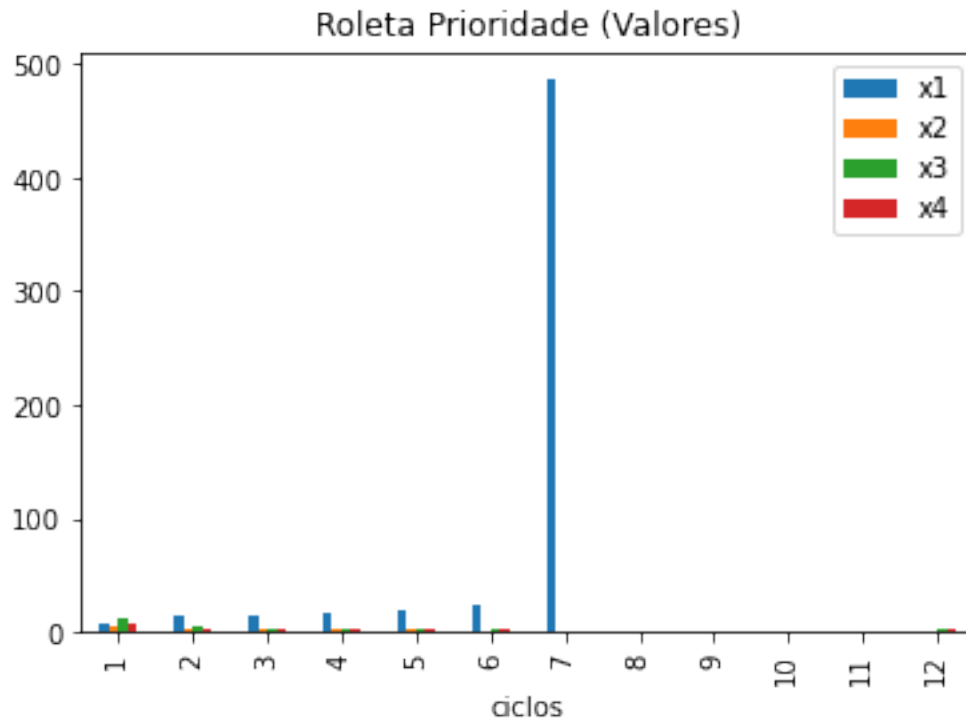
Figura 152 – Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

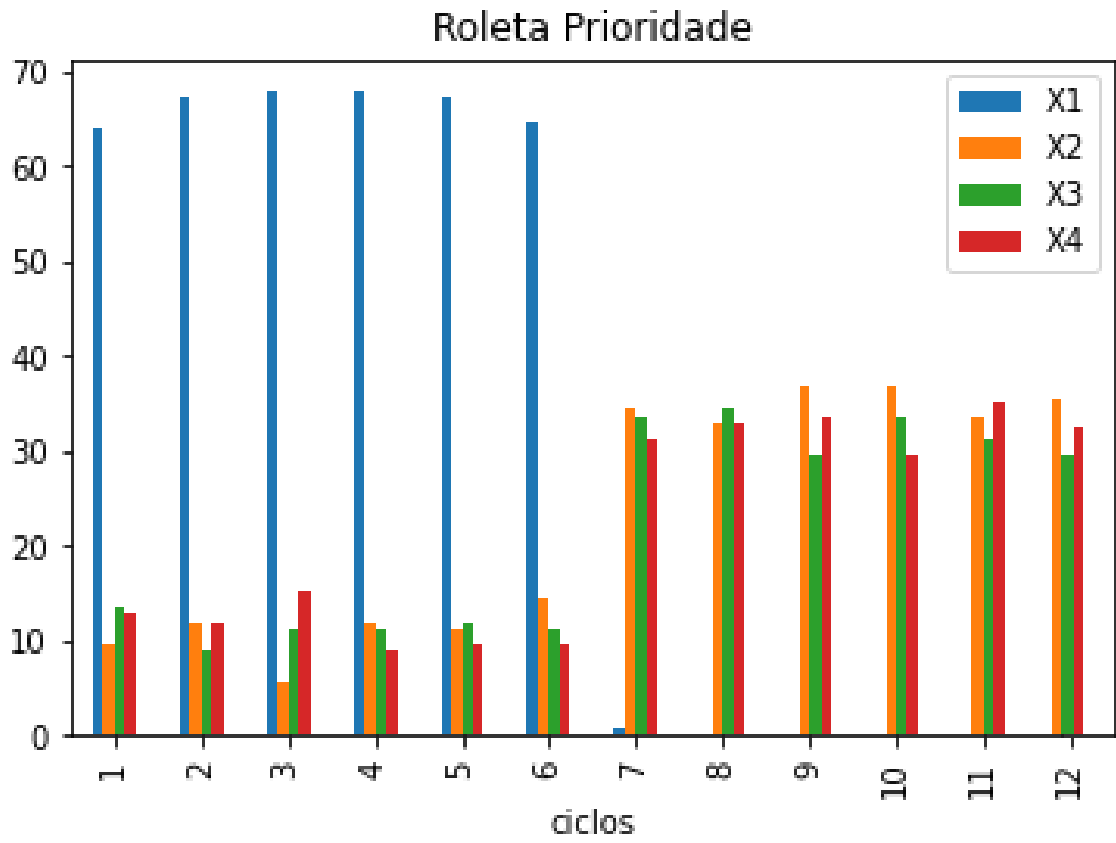
G.3 CENÁRIO C7: ROLETA PRIORIDADE

A figura 153 mostra os valores calculados pela metaheurística TLBO para as APs. A AP₁, por ter uma prioridade maior que as demais APs, foi mais priorizada até terminar a sua disponibilidade, mesmo com a maior prioridade no 7º ciclo. É possível ver na figura 154 que a priorização ocorreu.

Figura 153 – Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade

Fonte: o autor.

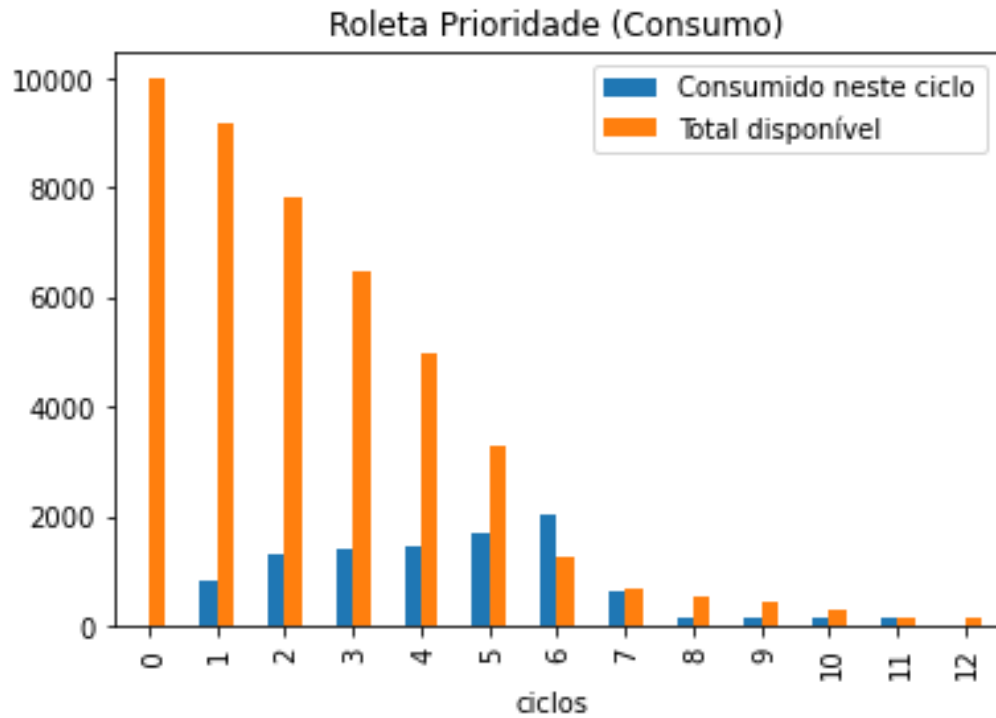
Figura 154 – Cenário 7 Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

A figura 155 mostra que, como esperado, o consumo dos recursos compartilhados foi feito até o último ciclo.

Figura 155 – Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade

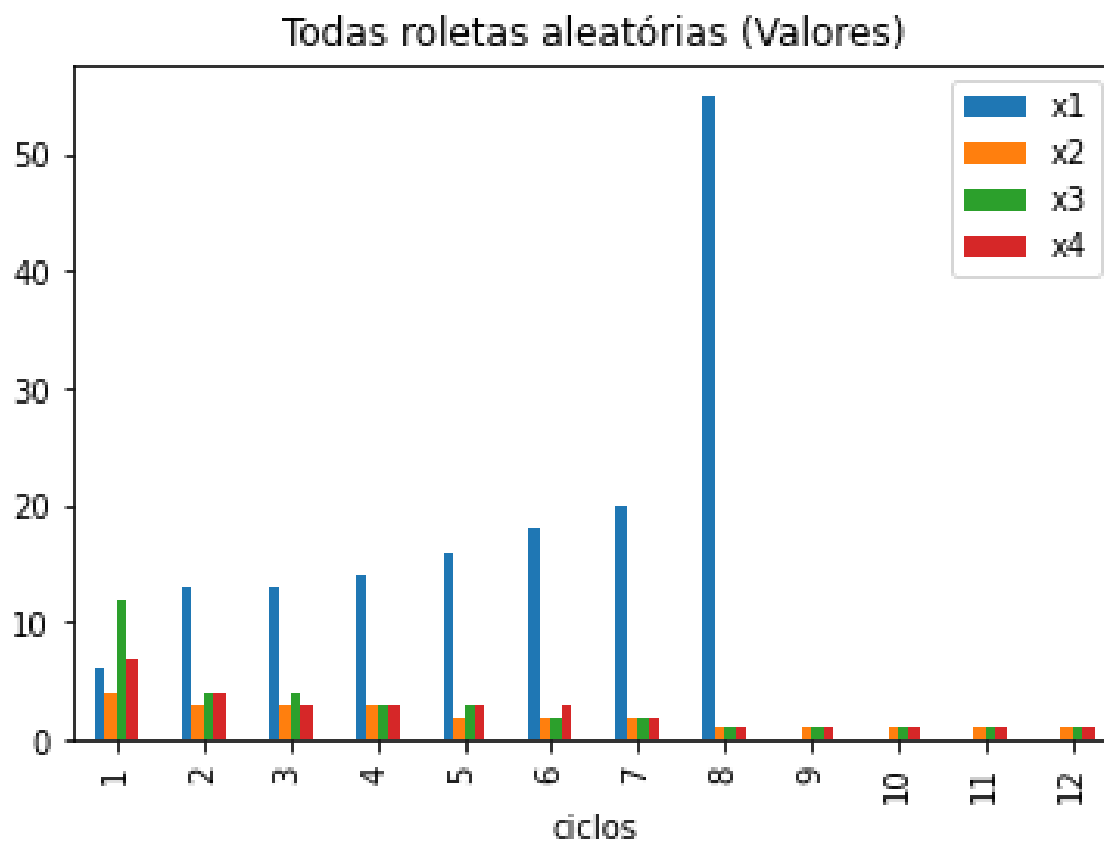


Fonte: o autor.

G.4 CENÁRIO C7: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS

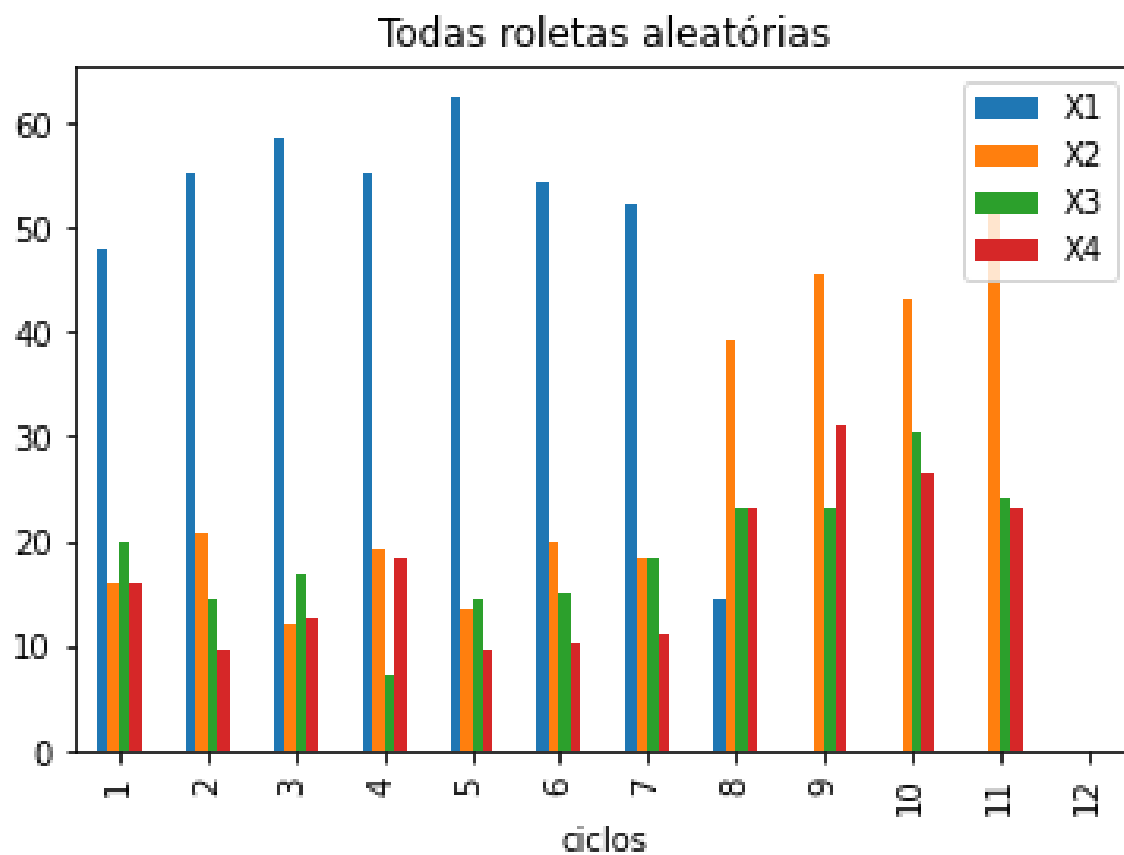
A figura 156 mostra os valores calculados para todos os ciclos. A figura 144 mostra que a AP_1 foi priorizada até o 8º ciclo quando a sua disponibilidade terminou. Para o 8º ciclo, o valor calculado de AP_1 foi muito alto, isto ocorreu por que, como as suas unidades estavam finalizando.

Figura 156 – Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

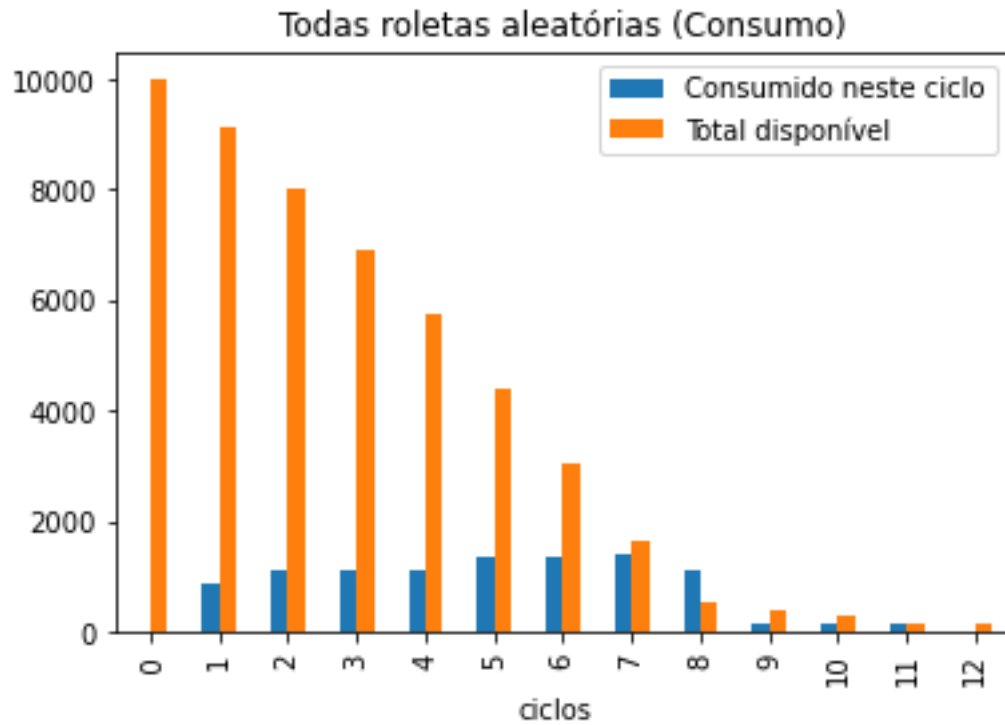
Figura 157 – Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

A figura 158 mostra que, como nas demais simulações já apresentadas do cenário 7, a quantidade dos recursos compartilhados não termina antes da execução dos 12 ciclos.

Figura 158 – Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias

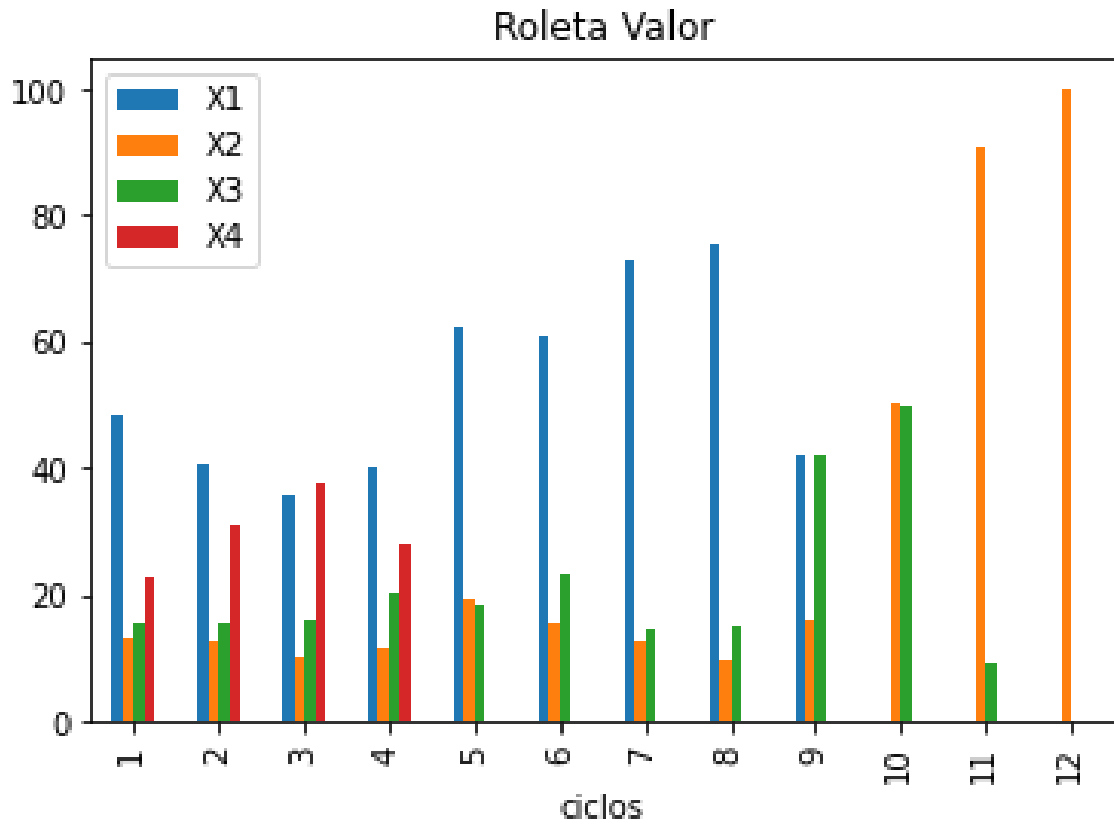


Fonte: o autor.

G.5 CENÁRIO C7: ROLETA VALOR

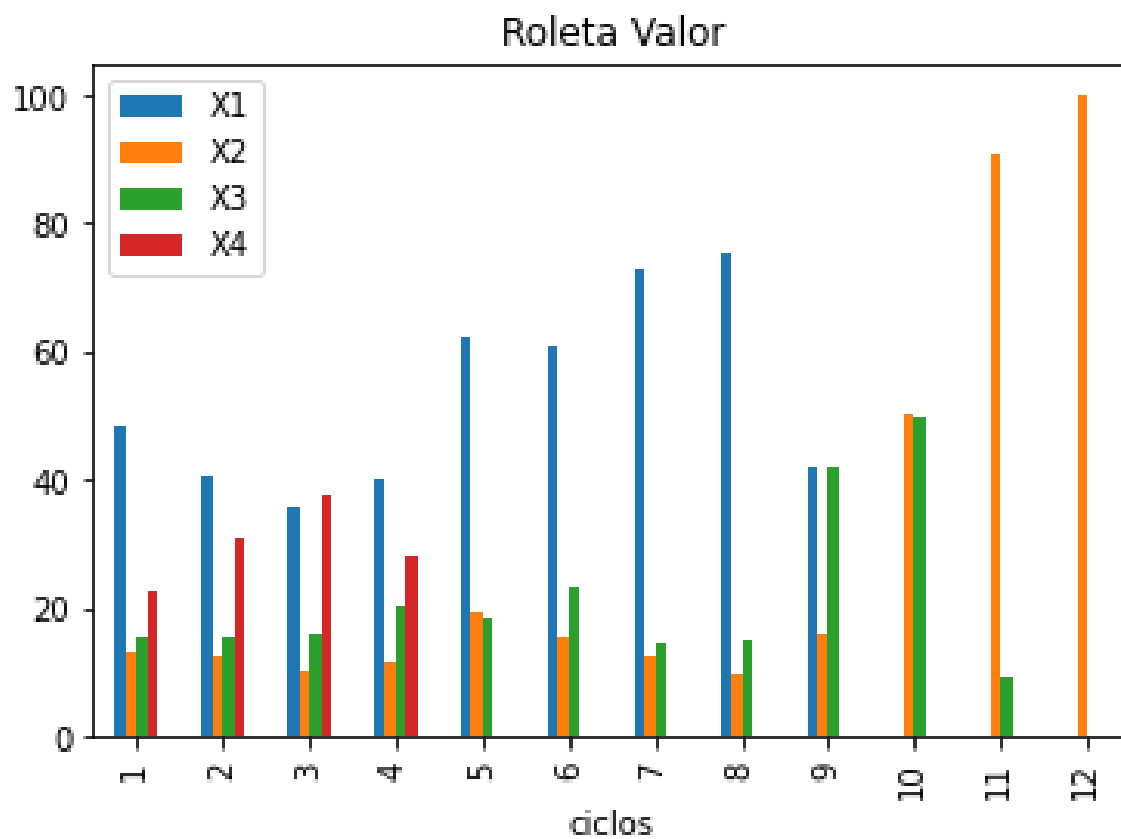
Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 159. É possível perceber, na figura 160, que a AP_1 foi priorizada.

Figura 159 – Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor



Fonte: o autor.

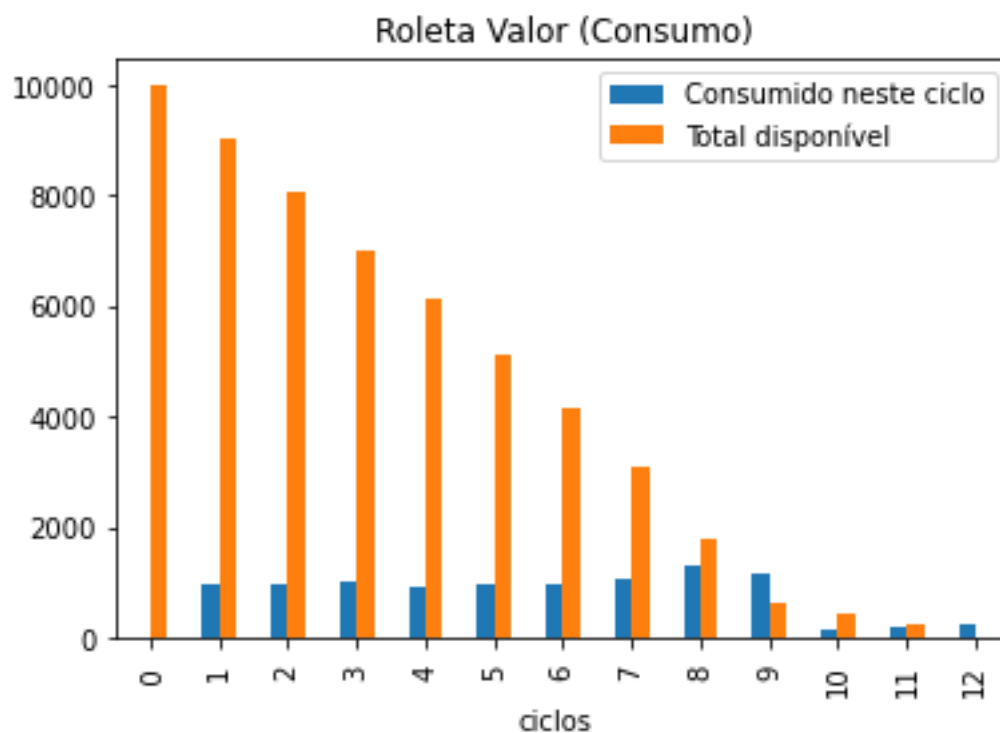
Figura 160 – Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor



Fonte: o autor.

Como desejado, a figura 161 mostra que a disponibilidade dos recursos compartilhados não terminou antes do 12º ciclo.

Figura 161 – Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Valor

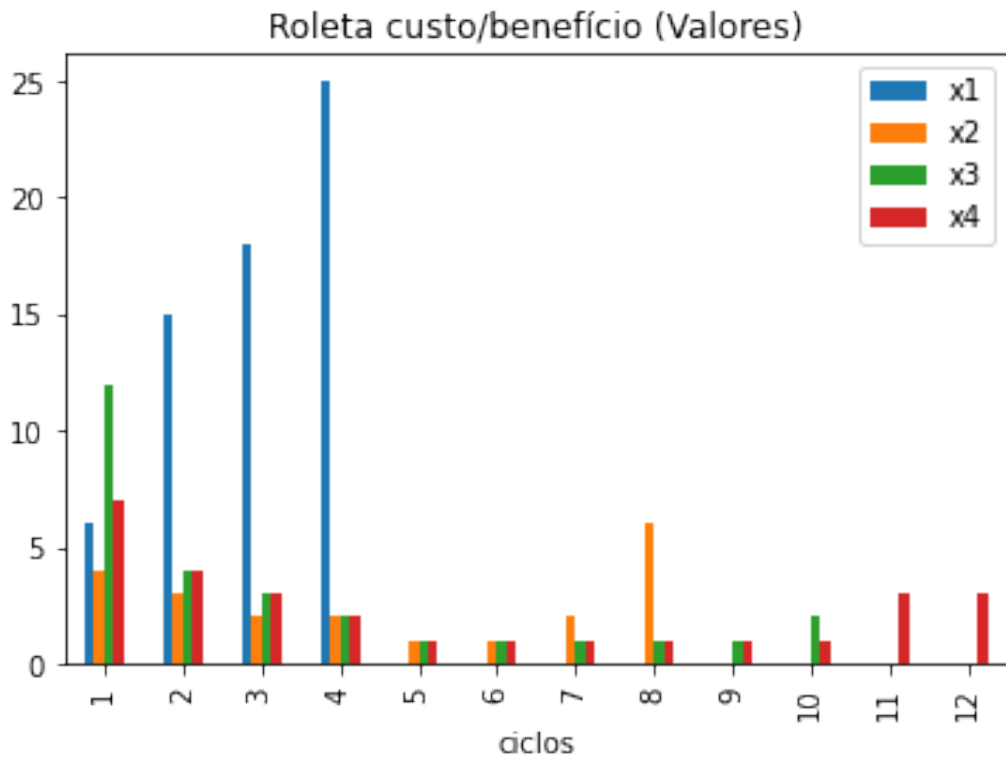


Fonte: o autor.

G.6 CENÁRIO C7: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO

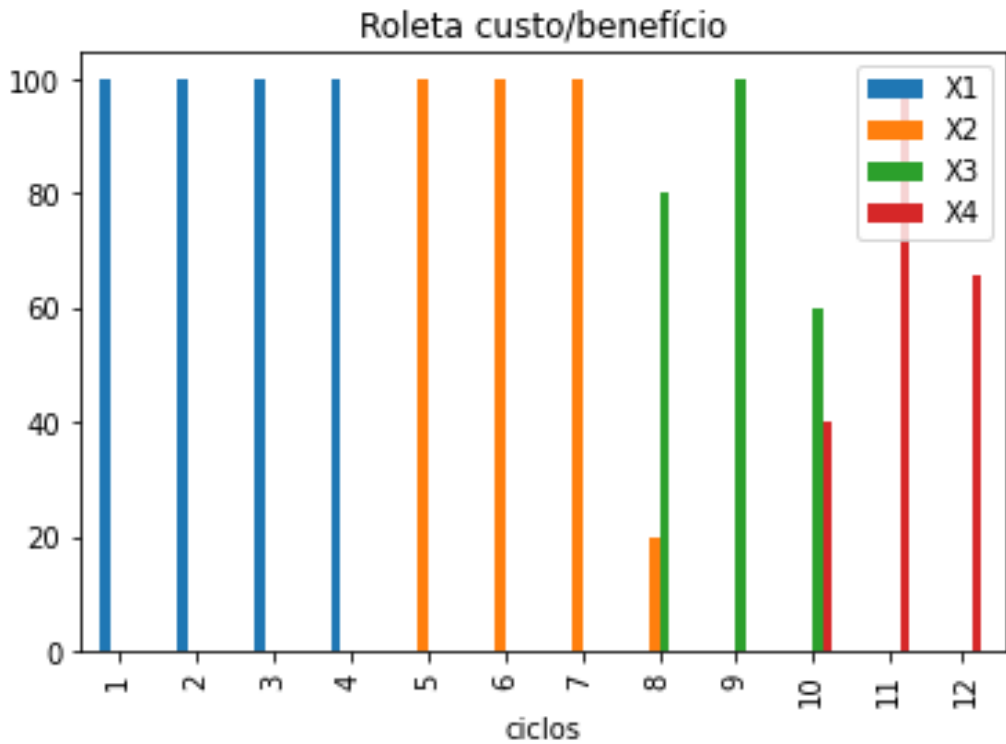
A figura 162 mostra os valores calculados para as APs. A priorização não ocorreu nos valores de cada AP, porém o custo-benefício calculado acabou obedecendo a priorização desejada. A priorização das ações também aparece na figura 163.

Figura 162 – Cenário 7: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

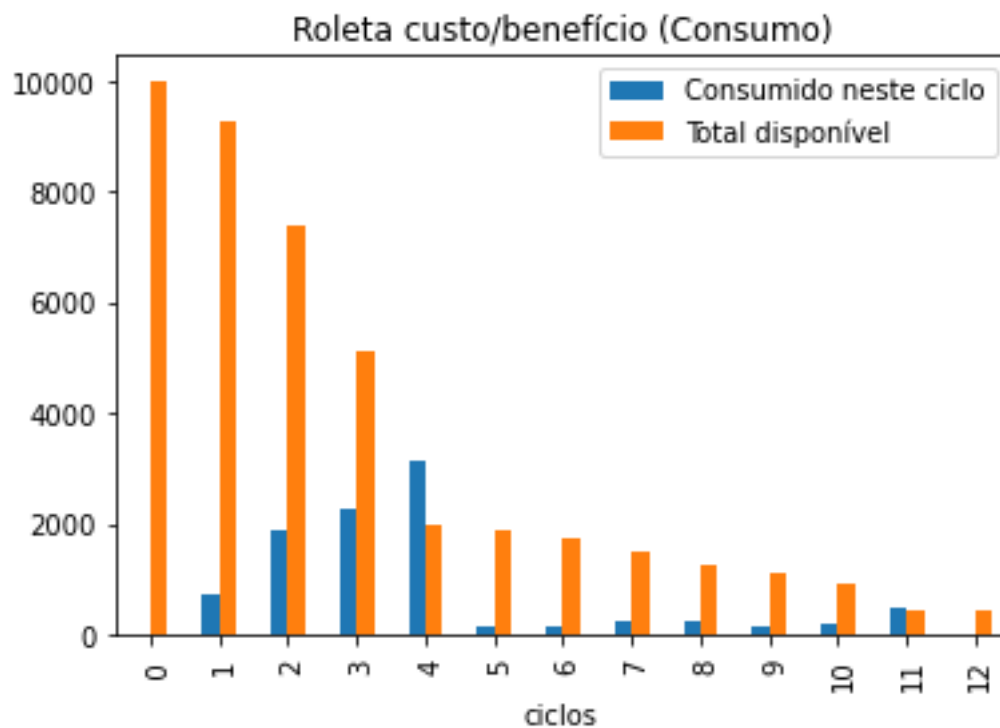
Figura 163 – Cenário 7: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

A figura 164 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi maior inicialmente, mas os recursos foram consumidos até o 12º ciclo.

Figura 164 – Cenário 7: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

APÊNDICE H – CENÁRIO C8

Este cenário foi executado com a configuração descrita na tabela 49.

Tabela 49 – Configuração do cenário 8

	AP1	AP2	AP3	AP4
Quantidade	500	400	300	300
Prioridade (%)	50	30	15	5
Custo	1.3	2	5	10

Fonte: o autor.

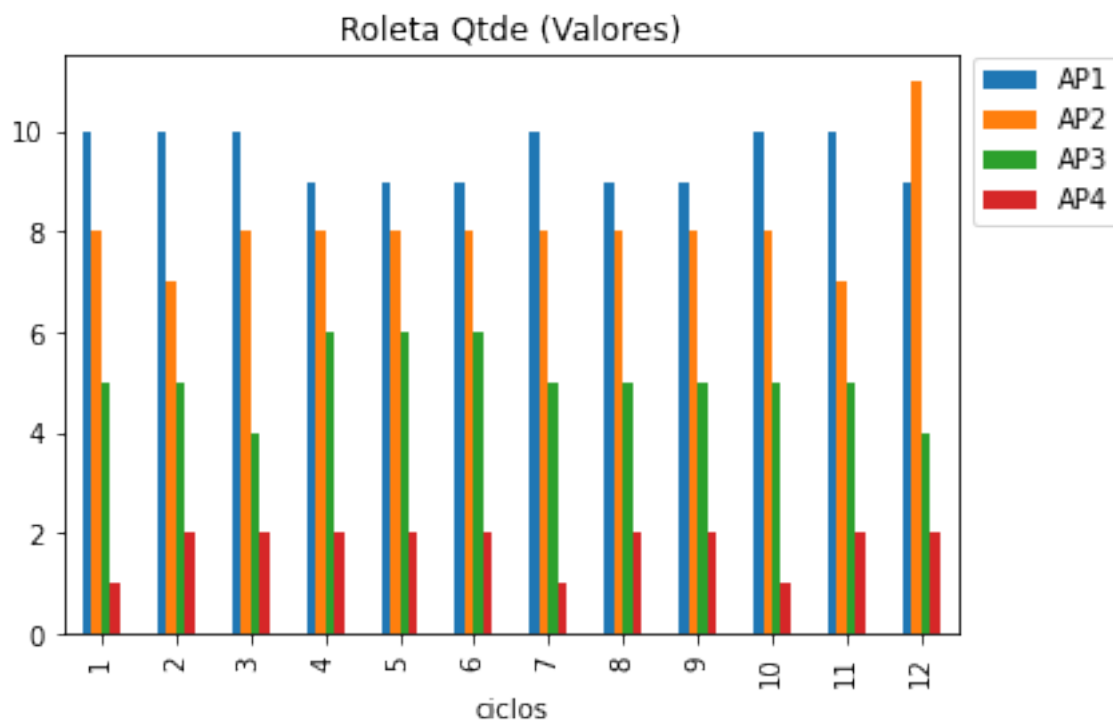
Neste cenário, além das ações possuírem quantidades diferentes, AP₁ possui maior prioridade que as demais, seguido pela AP₂. Isto significa que é desejado que estas ações sejam executadas antes das demais ações.

Para cada roleta foram executados 12 ciclos, cada ciclo recalcula, utilizando a metaheurística TLBO, o valor de cada ação conforme a quantidade de unidades disponíveis de cada ação positiva e das unidades ainda não consumidas de recursos compartilhados. A informação *custo* é utilizada apenas pela roleta custo-benefício.

H.1 CENÁRIO C8: ROLETA QUANTIDADE

Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 165. Como desejado, as APs com maior prioridade receberam valor maior.

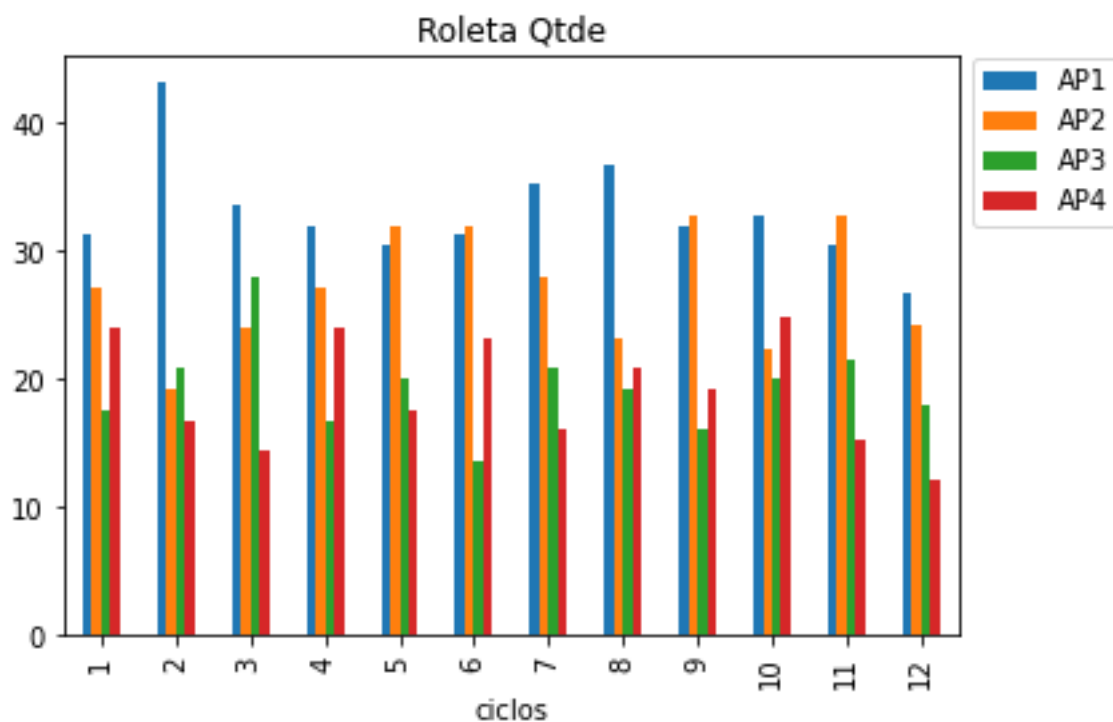
Figura 165 – Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Quantidade



Fonte: o autor.

Aa figura 166 que mostra a quantidade executada de APs por ciclo.

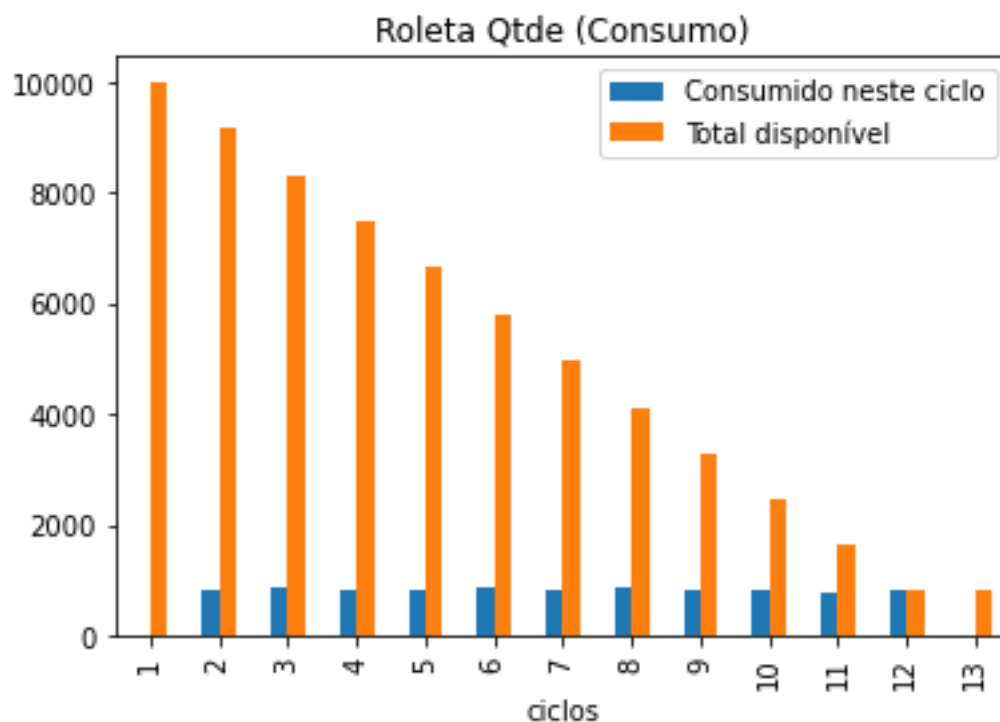
Figura 166 – Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Quantidade



Fonte: o autor.

A figura 167 mostra que o consumo dos recursos compartilhados se deu de forma homogênea em todos os ciclos.

Figura 167 – Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Quantidade

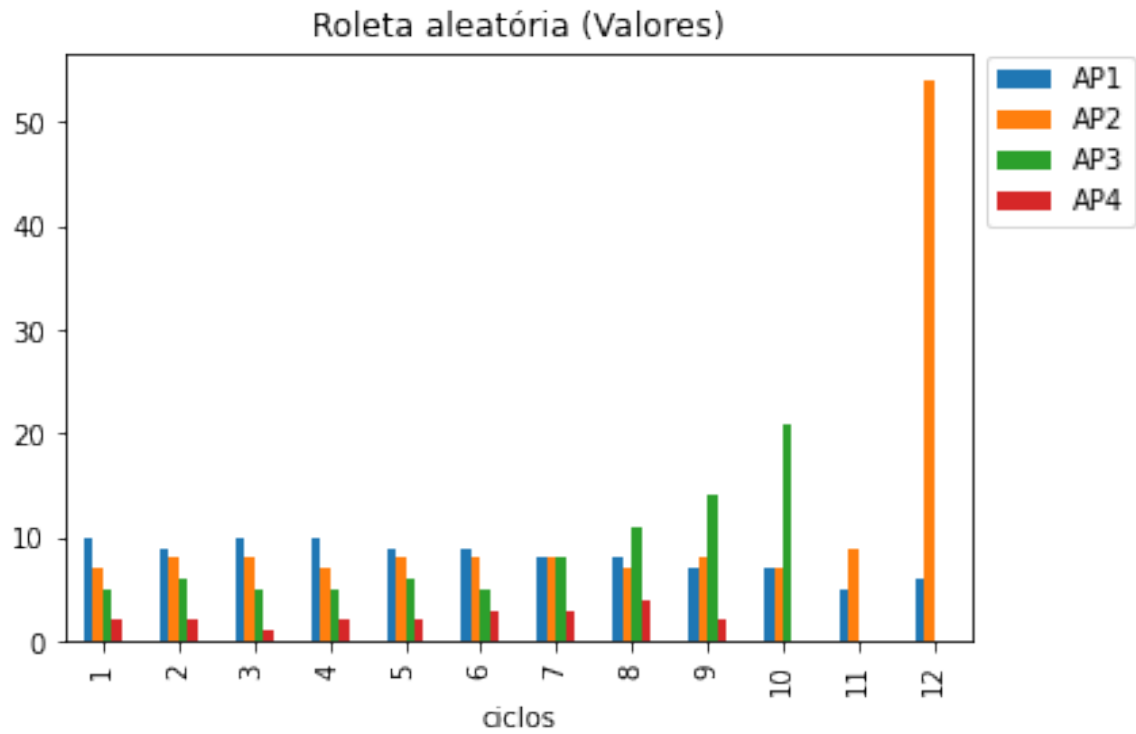


Fonte: o autor.

H.2 CENÁRIO C8: ROLETA ALEATÓRIA

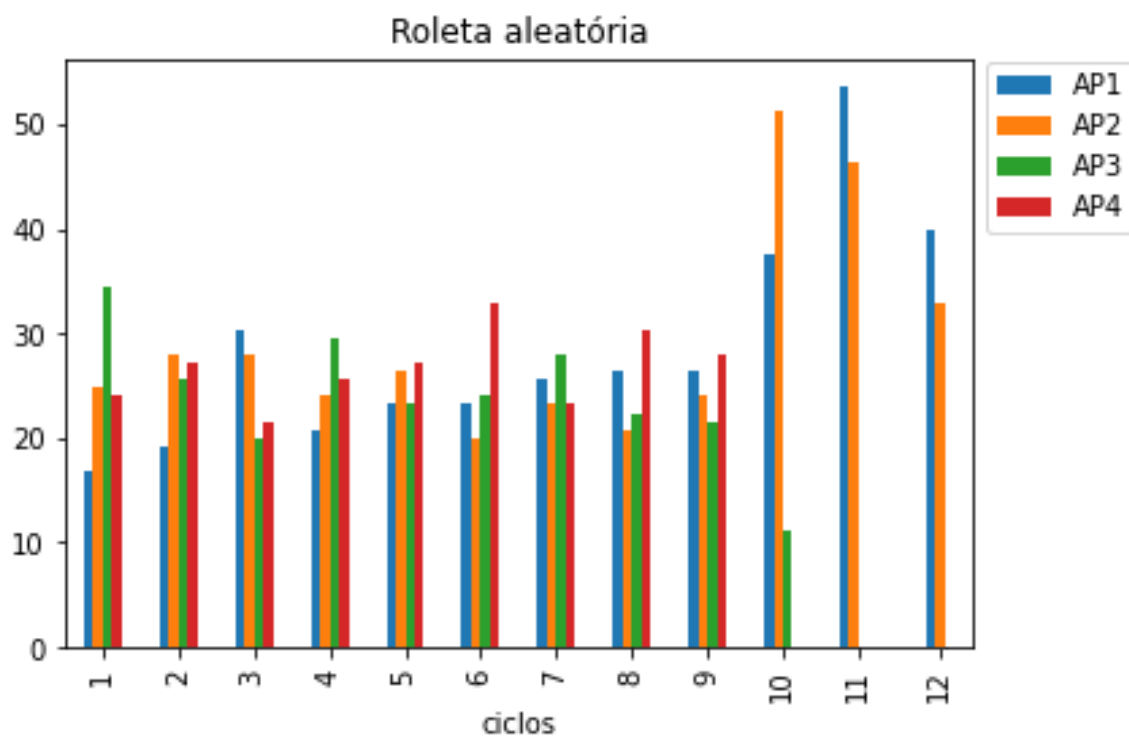
A figura 150 mostra como o valor calculado pela TLBO para cada AP. É possível perceber que os valores das APs foram priorizados.

Figura 168 – Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

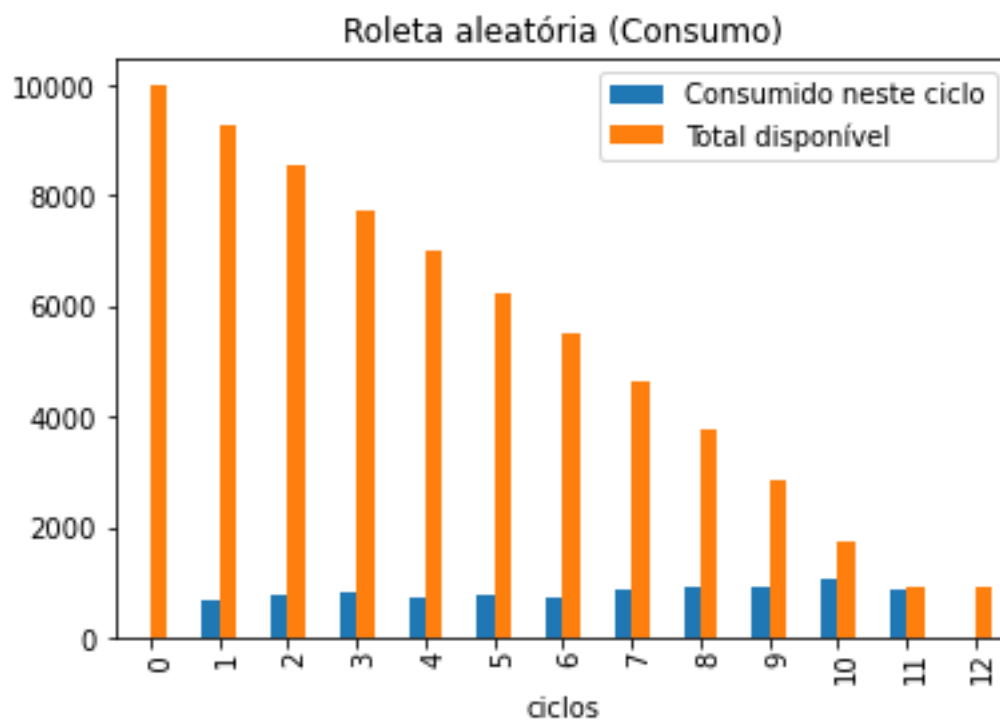
A figura 170 mostra que, como esperado na roleta *aleatória*, não houve priorização na execução das APs.

Figura 169 – Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Aleatória

Fonte: o autor.

A figura 170 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi feito até o 12º ciclo, como esperado.

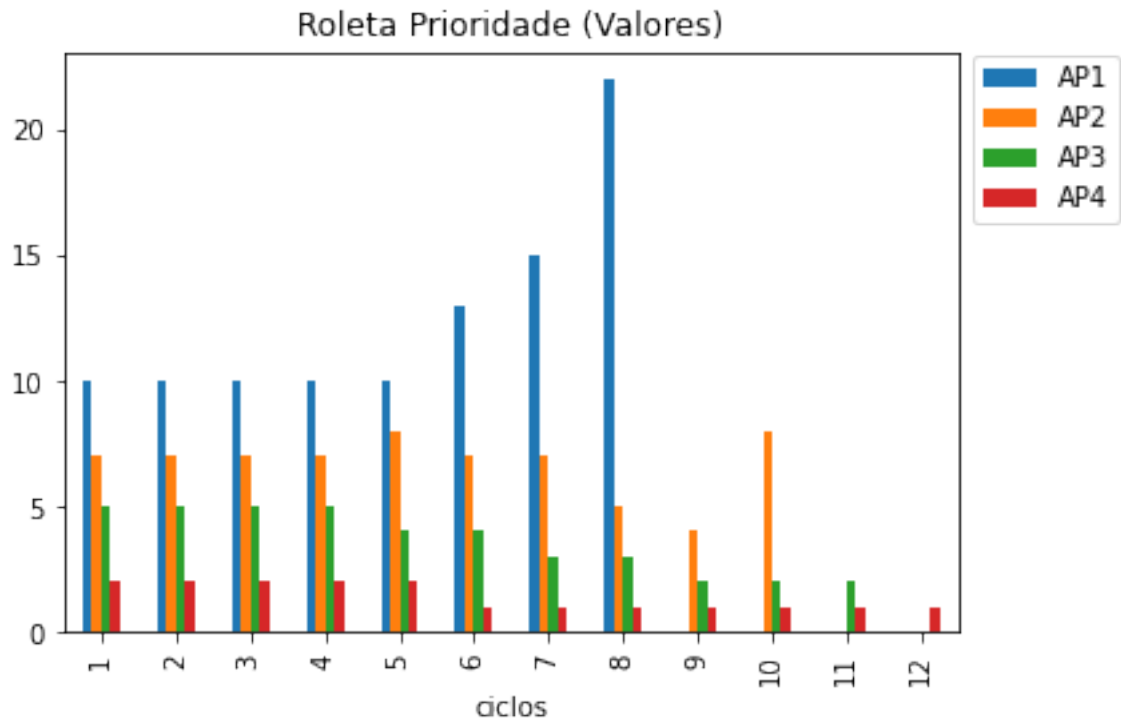
Figura 170 – Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Aleatória



Fonte: o autor.

H.3 CENÁRIO C8: ROLETA PRIORIDADE

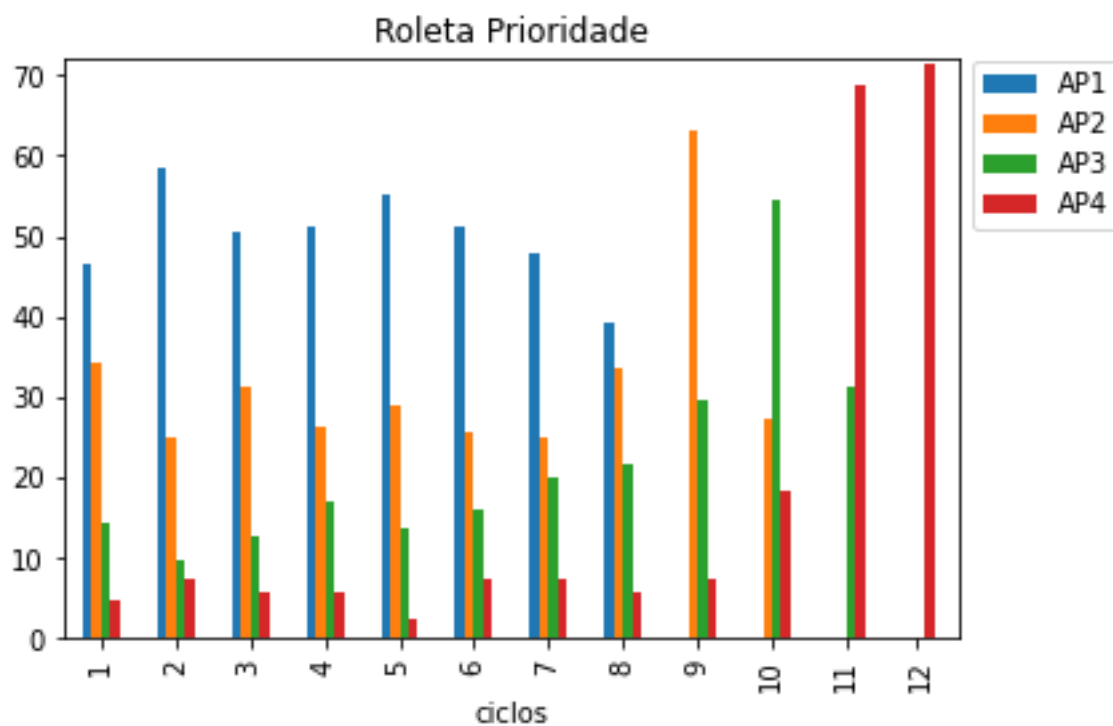
A figura 171 mostra os valores calculados pela metaheurística TLBO para as APs. É possível perceber claramente que os valores calculados obedeceram a priorização configurada.

Figura 171 – Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Prioridade

Fonte: o autor.

Como esperado nesta roleta, a priorização das APs aconteceu corretamente, como visto na figura 172.

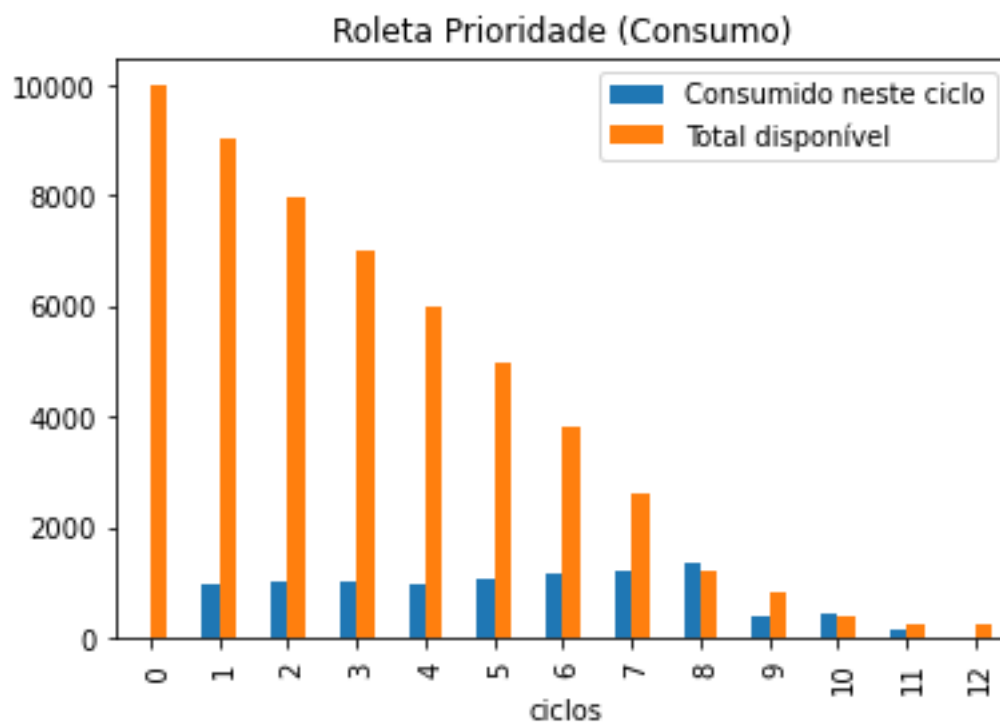
Figura 172 – Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Prioridade



Fonte: o autor.

A figura 173 mostra que, como esperado, o consumo dos recursos compartilhados foi feito até o último ciclo.

Figura 173 – Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Prioridade

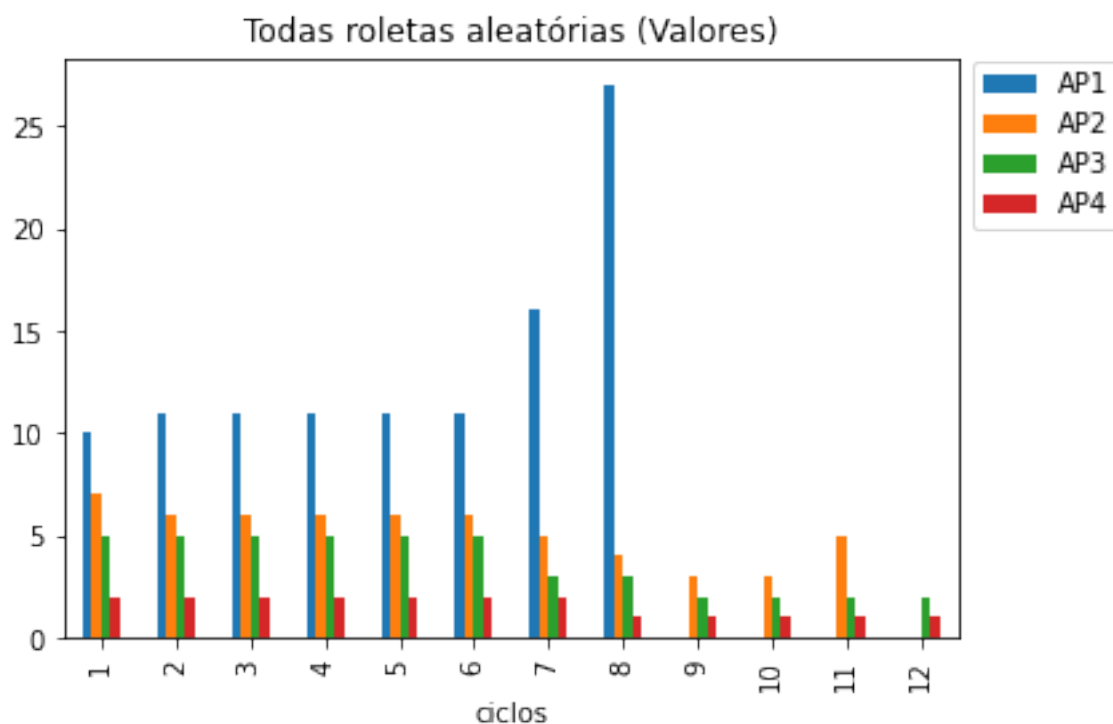


Fonte: o autor.

H.4 CENÁRIO C8: ROLETA TODAS ALEATÓRIAS

A figura 174 mostra os valores calculados para todos os ciclos. É possível visualizar que os valores calculados seguiram as prioridades configuradas de cada AP.

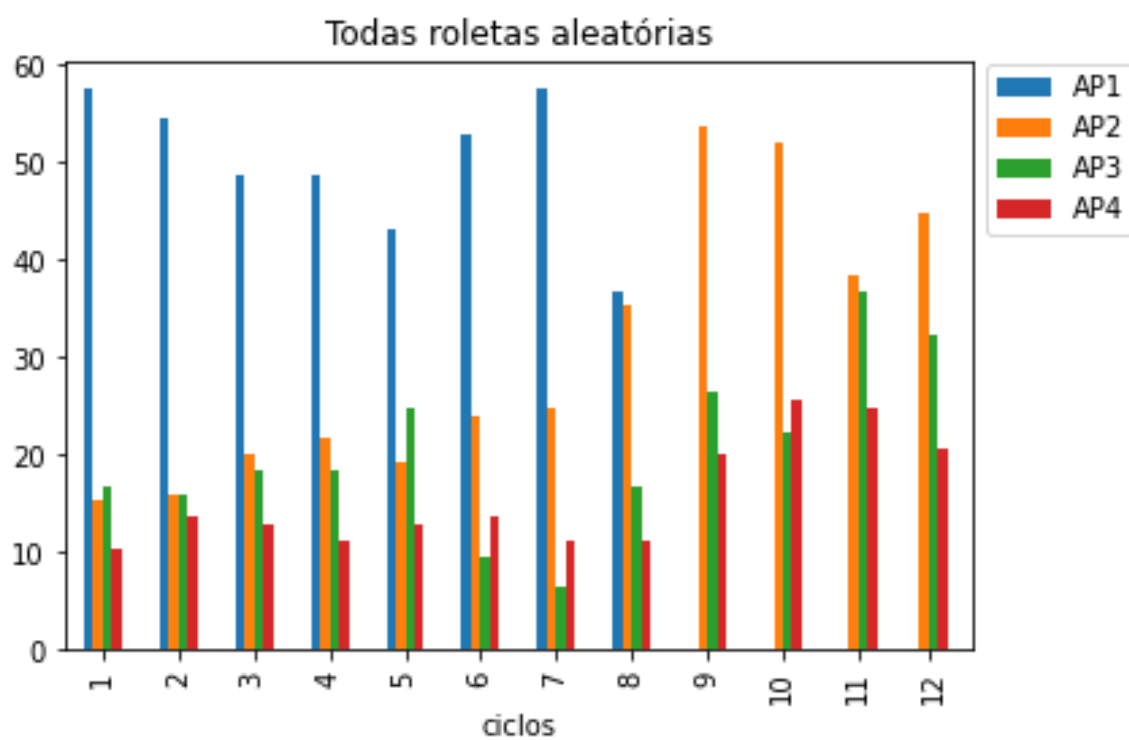
Figura 174 – Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

A figura 175 mostra que a priorização ocorreu conforme desejado.

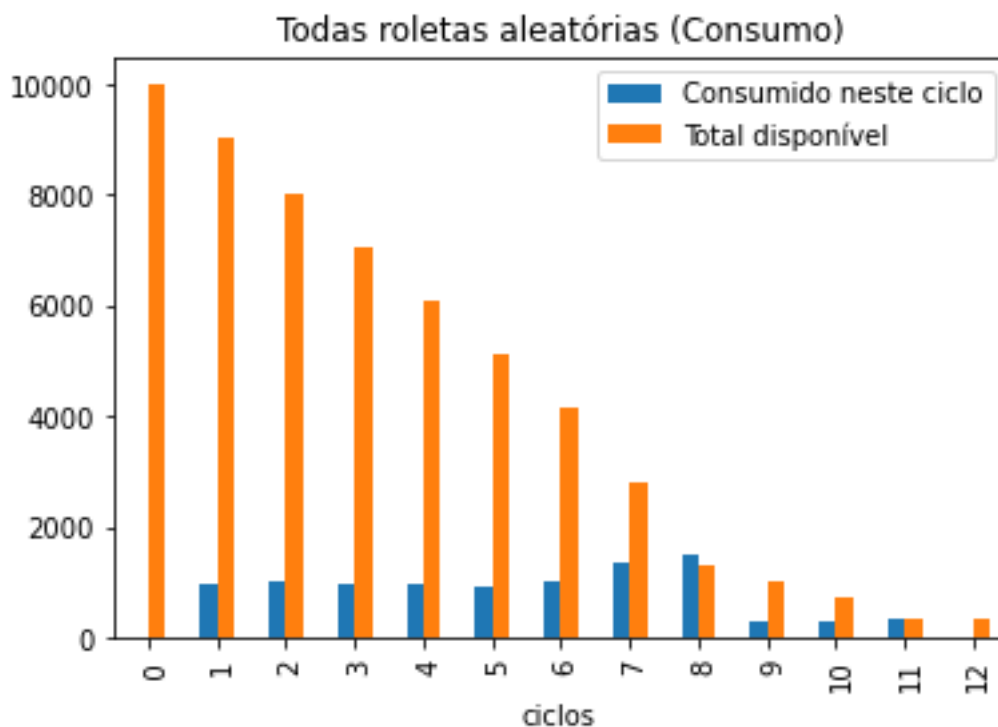
Figura 175 – Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Todas Aleatórias



Fonte: o autor.

A figura 176 mostra que, como nas demais simulações já apresentadas do cenário 8, a quantidade dos recursos compartilhados não termina antes da execução dos 12 ciclos.

Figura 176 – Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Todas Aleatórias

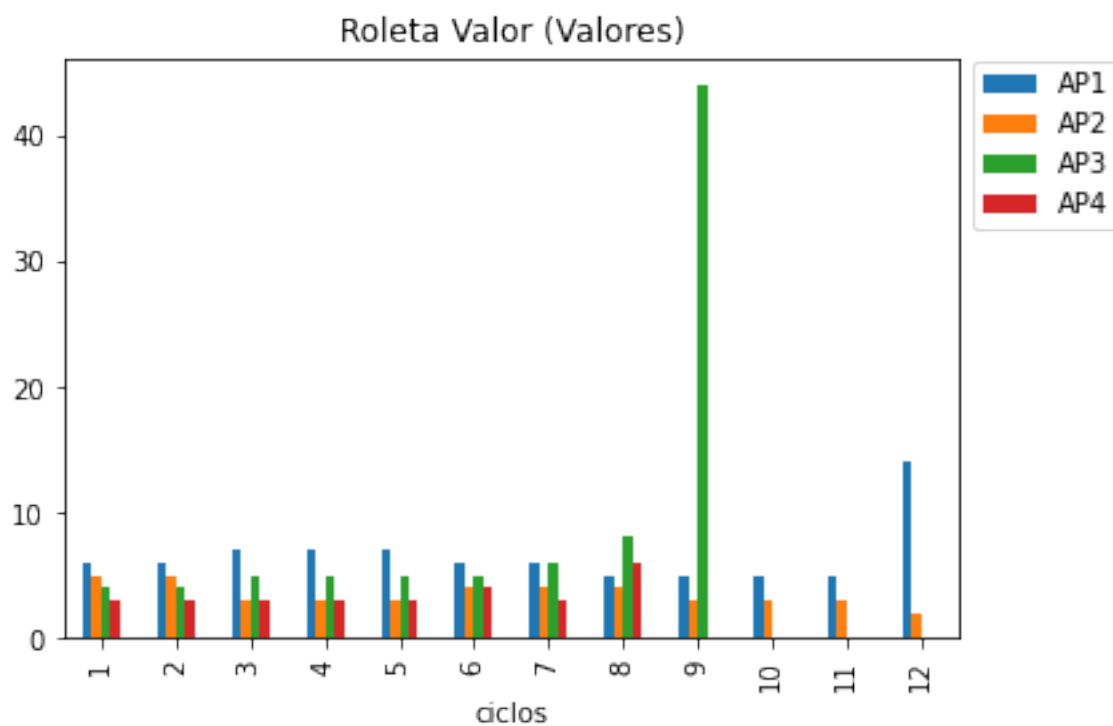


Fonte: o autor.

H.5 CENÁRIO C8: ROLETA VALOR

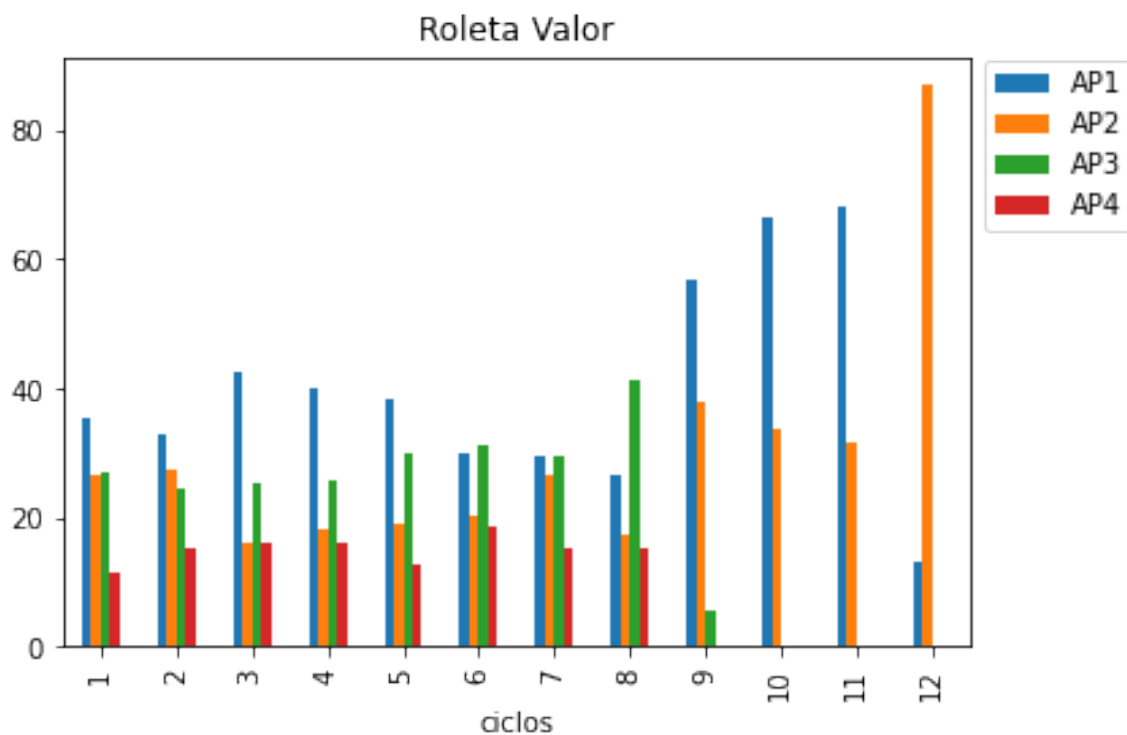
Os valores para cada ação positiva calculados pela metaheurística TLBO para cada ciclo estão na figura 177. É possível perceber, na figura 178, que houve priorização nos valores, principalmente nos 2 primeiros ciclos.

Figura 177 – Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Valor



Fonte: o autor.

Figura 178 – Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Valor

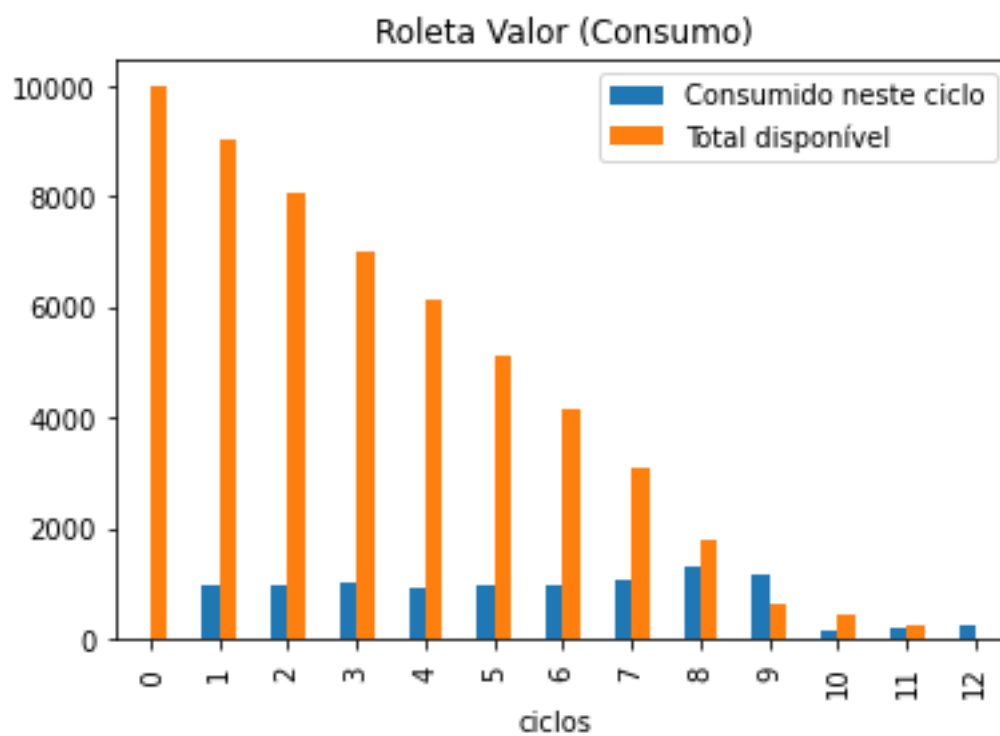


Fonte: o autor.

Como desejado, a figura 179 mostra que a disponibilidade dos recursos compartilhados

não terminou antes do 12º ciclo.

Figura 179 – Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Valor

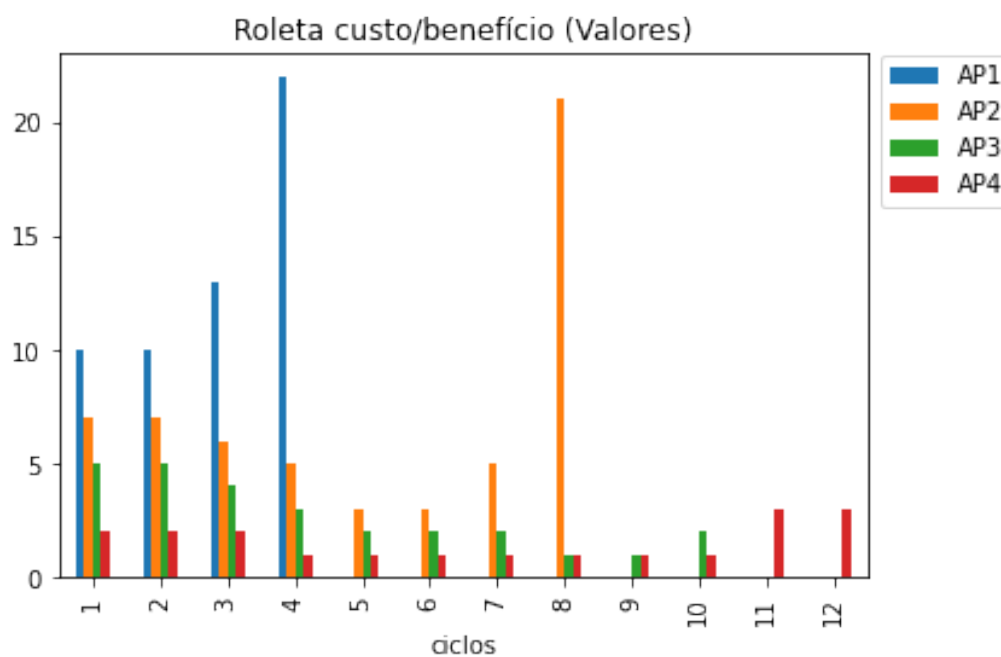


Fonte: o autor.

H.6 CENÁRIO C8: ROLETA CUSTO-BENEFÍCIO

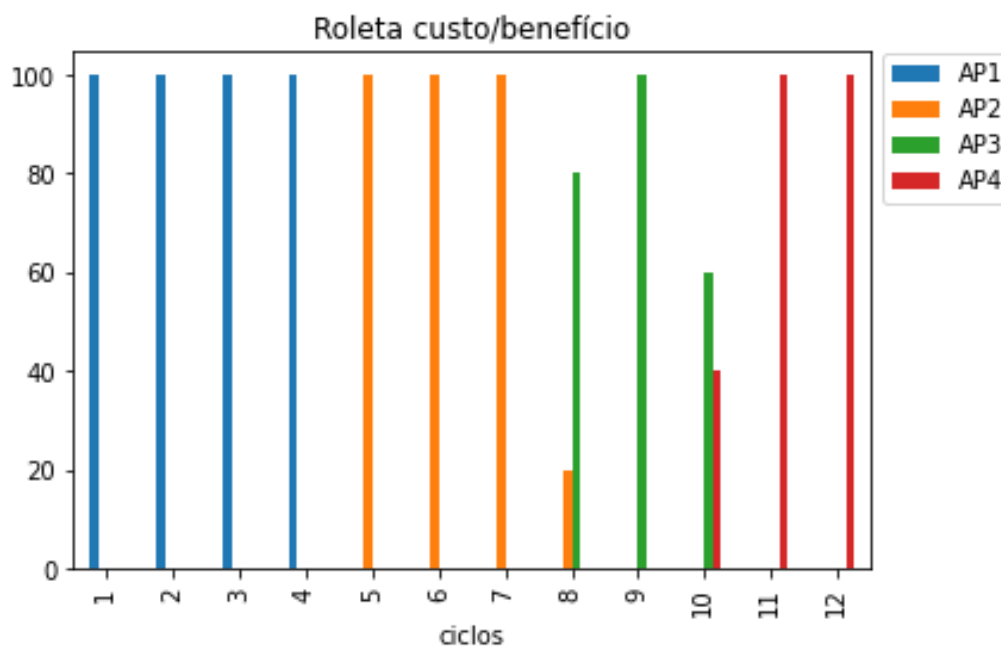
A figura 180 mostra os valores calculados para as APs. A priorização ocorreu nos valores de cada AP. A priorização das ações também aparece na figura 181.

Figura 180 – Cenário 8: Valores das APs em cada ciclo na roleta Custo-Benefício



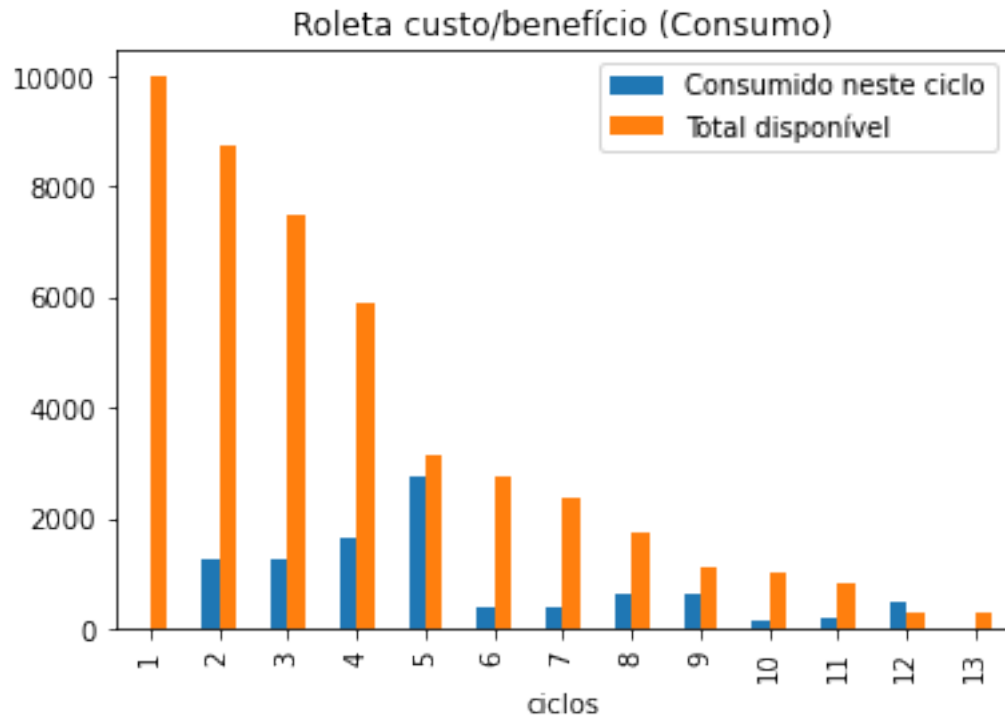
Fonte: o autor.

Figura 181 – Cenário 8: Percentual executado de cada AP por ciclo na roleta Custo-Benefício



Fonte: o autor.

A figura 182 mostra que o consumo dos recursos compartilhados foi maior inicialmente, mas os recursos foram consumidos até o 12º ciclo.

Figura 182 – Cenário 8: Consumo x disponibilidade na roleta Custo-Benefício

Fonte: o autor.