

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS

**RAMON GOMES DA SILVA**

PROPOSIÇÃO DE UMA TEORIA EMPÍRICA PARA ESTIMATIVA DE  
CAPACIDADE UTILIZANDO AS TÉCNICAS DE *LOT STREAMING*

CURITIBA  
2019

**RAMON GOMES DA SILVA**

**PROPOSIÇÃO DE UMA TEORIA EMPÍRICA PARA ESTIMATIVA DE  
CAPACIDADE UTILIZANDO AS TÉCNICAS DE *LOT STREAMING***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Área de concentração: Gerência de Produção e Logística, da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Dr. Raimundo José Borges de Sampaio

Coorientador: Dr. Rafael Rodrigues Guimarães Wollmann

CURITIBA  
2019

Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central  
Edilene de Oliveira dos Santos CRB/9 1636

S586p  
2019

Silva, Ramon Gomes da

Proposição de uma teoria empírica para estimativa de capacidade utilizando  
as técnicas de *lot streaming* / Ramon Gomes da Silva; orientador, Raimundo  
Jose Borges de Sampaio ; coorientador, Rafael Rodrigues Guimaraes Wollmann.  
-- 2019

101 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba,  
2019.

Bibliografia: f. 29-32

1. Engenharia da produção. 2. Planejamento da produção. 3. Controle da  
produção – Modelos matemáticos. I. Sampaio, Raimundo José Borges de.  
II. Wollmann, Rafael Rodrigues Guimarães. III. Pontifícia Universidade Católica  
do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e  
Sistemas. IV. Título.

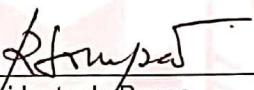
CDD 20. ed. – 670

## TERMO DE APROVAÇÃO

### Ramon Gomes da Silva

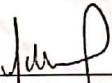
#### PROPOSIÇÃO DE UMA TEORIA EMPÍRICA PARA ESTIMATIVA DE CAPACIDADE UTILIZANDO AS TÉCNICAS DE LOT STREAMING.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Presidente da Banca

Prof. Dr. Raimundo José Borges de Sampaio  
(Orientador)



Prof. Dr. Rafael Rodrigues Guimarães Wollmann  
(Coorientador)



Prof. Dr. Celso Carnieri

(Membro Externo)

### GRUPO MARISTA

Curitiba, 15 de fevereiro de 2019.

À Deus, à minha família e aos amigos  
presentes nesse caminhar.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus por tudo que Ele proporcionou, de ter aberto os caminhos e me dado forças para vencer mais este desafio, sem Ele nada seria possível.

Aos meus familiares que, mesmo de longe, sempre me apoiaram e me incentivaram a seguir em frente de cabeça erguida e a buscar lugares mais altos. Em especial a minha mãe Ercilene Gomes dos Santos, minha vó Maria Assis dos Santos, e minha namorada Fernanda Costa Neves que em nenhum momento cessaram suas orações e deixaram de acreditar no meu sucesso.

Ao Prof. Raimundo J. B. de Sampaio, por ter me dado a oportunidade de estar trabalhando junto a ele, e ao longo do mestrado ter compartilhado de seu conhecimento e experiências, sempre buscando o meu crescimento profissional e pessoal, que com isso tornou-se possível a realização deste trabalho.

Ao Prof. Rafael R. G. Wollmann, pela disposição e paciência de estar me auxiliando nas minhas deficiências, e contribuindo com seus conhecimentos para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos funcionários e demais professores da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), em especial as secretárias Denise (PPGEPS) e Jane (PPGEM) pela paciência e solicitude em me atender e ajudar nas inúmeras vezes que precisei, e não medirem esforços para tal.

Aos meus amigos que ficaram em Belém torcendo, e aos novos que fiz durante esta caminhada que proporcionaram momentos agradáveis de diversão em meio a batalha.

À CAPES pelo investimento da bolsa de estudos concedida permitindo que esta etapa da minha carreira profissional e acadêmica fosse concluída.

*“Do or do not. There is no try”.*  
(Master Yoda)

## Resumo

Planejamento e programação da produção são etapas importantes do processo produtivo em um sistema de manufatura. Para garantir que o planejamento e programação de produção de um sistema produtivo sejam satisfatórios é necessário a estimação da capacidade desse sistema da maneira mais precisa. Para garantir essa precisão, são necessárias a utilização de regras de estimação tal como o *lot streaming*, que é uma técnica que subdivide um lote de produção em sublotes menores, para que operações consecutivas possam ser processadas em sobreposição (*overlapping*), isto é, para que possam ser processadas em paralelo. Para problemas gerais, ou seja, sistemas de produção com  $m$  máquinas e  $n$  sublotes, o problema se torna extremamente complexo. Sistemas de produção desequilibrados geralmente são menos eficientes que sistemas equilibrados. Trabalhar com sistemas desequilibrados e complexos além de caros, necessitam de um conhecimento técnico específico e domínio das técnicas de *lot streaming*, uma vez que não há uma regra geral para problemas com  $m$  máquinas e  $n$  sublotes. Este trabalho tratou de propor uma teoria empírica que estimasse a capacidade utilizando as técnicas de *lot streaming*, e que fosse uma alternativa mais simples e barata para problemas mais gerais e complexos. Numerosos experimentos numéricos realizados na fase inicial desse estudo sugeriram que sistemas desequilibrados podiam ser representados usando-se sistemas equilibrados equivalentes em certo sentido específico, com um erro que podia ser estimado a priori. Então planejamos e executamos um experimento numérico para testar a seguinte hipótese: O *makespan* de sistemas de manufatura com  $m$  máquinas e  $n$  lotes com tempos distintos  $p_i$  de processamento em cada máquina  $i$  podem ser estimados adequadamente usando-se um tempo médio  $p$  para cada máquina? Para responder a essa questão foi planejado e executado um planejamento estatístico do seguinte modo. Os experimentos foram divididos em 9 grupos. Com a utilização do *Software R* foram gerados cenários para cada grupo. São os grupos, sistemas com: 5 máquinas e variação nos tempos de processamentos de até 20%; 5 máquinas e variação de até 50%; 5 máquinas e variação de até 70%; 10 máquinas e variação de até 20%; 10 máquinas e variação de até 50%; 10 máquinas e variação de até 70%; 15 máquinas e variação de até 20%; 15 máquinas e variação de até 50%; e, 15 máquinas e variação de até 70%. Para cada grupo foram gerados 100 cenários com tempos de processamento aleatórios. Para cada um dos cenários aleatórios foi gerado um cenário equilibrado equivalente. Comparando os resultados dos tempos de completude de cada cenário, foi possível observar que sistemas mais equilibrados possuem uma diferença menor que 8%. O trabalho concluiu que a alternativa oferece resultados mesmo não sendo ótimos, por um custo computacional extremamente baixo. E portanto pode-se construir uma teoria empírica de natureza prática que substitua a difícil tarefa de resolver problemas de *makespan* com  $m$  máquinas e  $n$  lotes com tempos  $p_i$  de processamento de cada máquina. Em conclusão o trabalho

apresentado sugere uma teoria empírica para o problema geral de *makespan* com  $m$  máquinas e  $n$  sublots com tempos  $p_i$  de processamento na máquina  $i$  com margem de erro conhecida, usando a teoria disponível para duas e três máquinas,  $n$  sublots, e  $p_i$  tempos de processamento de cada máquina  $i$ . Essa contribuição tem grande relevância prática porque não existe uma solução analítica geral para esse problema de grande interesse dos sistemas de manufatura.

**Palavras-chaves:** Capacidade, *Lot Streaming*, Planejamento da Produção, Programação da Produção, Simulação.

## Abstract

Production Planning and Scheduling are important phases of the productive process in a manufacturing system. To ensure that the production planning and scheduling of a production system be satisfactory it is necessary the forecast of the capacity as accurate as possible. To ensure this accuracy, it is necessary the utilization of rules of forecast such as the Lot Streaming, which is a technique that divides a production lot into smaller sublots to consecutive operations be processed in overlapping, i.e., it can be processed in parallel. In general problems, i.e., with production systems with  $m$  machines and  $n$  sublots, the problem becomes extremely complex. Unbalanced production systems are generally less efficient than balanced systems. Working with unbalanced and complex systems, besides being expensive, require a specific technical knowledge and a domain of the lot streaming techniques, once there is no general rule to  $m$  machine problems and  $n$  sublots. This research worked on propose an empirical theory that estimates capacity using the lot streaming techniques, and that was also a simplest and cheaper alternative to more general and complex problems. Numerous numerical experiments conducted in the early phase of this study suggested that unbalanced systems could be represented using equivalent systems in a certain sense, with an error that could be estimated a priori. So, we planned and executed a numerical experiment to test the following hypothesis: Can the manufacturing systems makespan with  $m$  machines and  $n$  lots with distinct times  $p_i$  of processing in each machine  $i$  be estimated properly using a mean time  $p$  for each machine? To answer this question a statistical planning was planned and executed as follows. The experiments were divided in 9 groups. By using R Language, it was generated scenarios for each group. The groups are composed of systems with: 5 machines and variation on process times of 20%; 5 machines and variation of 50%; 5 machines and variation of 70%; 10 machines and variation of 20%; 10 machines and variation of 50%; 10 machines and variation of 70%; 15 machines and variation of 20%; 15 machines and variation of 50%; and, 15 machines and variation of 70%; For each group, 100 scenarios with random process times were generated. For each random scenario it was generated an equivalent balanced scenario. Comparing the results of the completeness times of each scenario, it was possible to observe that more balanced systems have a difference of less than 8%. The research concluded that the alternative offers results even if not optimal, for an extremely low computational cost. And, therefore, one can construct an empirical theory of practical nature that replaces the difficult task of solving problems of makespan with  $m$  machines and  $n$  lots with times  $p_i$  of processing of each machine. In conclusion the work presented suggests an empirical theory for the general problem of makespan with  $m$  machines and  $n$  sublots with times  $p_i$  of processing in the machine  $i$  with known margin of error, using the available theory for two and three machines,  $n$  sublots, and  $p_i$  processing times of each machine  $i$ . This contribution has great

practical relevance because there is no general analytical solution to this problem of great interest to manufacturing systems.

**Keywords:** Capacity, Lot Streaming, Production Planning, Scheduling, Simulation.

# **Lista de Figuras**

1	Exemplo de subdivisão de lotes em um sistema de três máquinas, adaptado de (VENTURA; YOON, 2013) . . . . .	3
2	Solução para o exemplo com dois lotes iguais e sem ociosidade . . . . .	10
3	Solução para o exemplo com dois lotes iguais e ociosidade intermitente . .	10
4	Solução para o exemplo com dois lotes variáveis e sem ociosidade . . . . .	11
5	Solução para o exemplo com dois lotes variáveis e ociosidade intermitente .	11
6	Makespan dos cenários com 5 máquinas e variação de até 20% . . . . .	16
7	Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 5 máquinas e variação de até 20% . . . . .	16
8	Erros dos cenários com 5 máquinas e variação de até 20% . . . . .	16
9	Makespan dos cenários com 5 máquinas e variação de até 50% . . . . .	17
10	Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 5 máquinas e variação de até 50% . . . . .	17
11	Erros dos cenários com 5 máquinas e variação de até 50% . . . . .	17
12	Makespan dos cenários com 5 máquinas e variação de até 70% . . . . .	18
13	Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 5 máquinas e variação de até 70% . . . . .	18
14	Erros dos cenários com 5 máquinas e variação de até 70% . . . . .	19
15	Makespan dos cenários com 10 máquinas e variação de até 20% . . . . .	19
16	Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 10 máquinas e variação de até 20% . . . . .	19
17	Erros dos cenários com 10 máquinas e variação de até 20% . . . . .	20
18	Makespan dos cenários com 10 máquinas e variação de até 50% . . . . .	20
19	Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 10 máquinas e variação de até 50% . . . . .	20
20	Erros dos cenários com 10 máquinas e variação de até 50% . . . . .	21
21	Makespan dos cenários com 10 máquinas e variação de até 70% . . . . .	21
22	Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 10 máquinas e variação de até 70% . . . . .	21
23	Erros dos cenários com 10 máquinas e variação de até 70% . . . . .	22
24	Makespan dos cenários com 15 máquinas e variação de até 20% . . . . .	22
25	Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 15 máquinas e variação de até 20% . . . . .	23
26	Erros dos cenários com 15 máquinas e variação de até 20% . . . . .	23
27	Makespan dos cenários com 15 máquinas e variação de até 50% . . . . .	23

28	Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 15 máquinas e variação de até 50% . . . . .	24
29	Erros dos cenários com 15 máquinas e variação de até 50% . . . . .	24
30	Makespan dos cenários com 15 máquinas e variação de até 70% . . . . .	24
31	Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 15 máquinas e variação de até 70% . . . . .	25
32	Erros dos cenários com 15 máquinas e variação de até 70% . . . . .	25
33	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 01 ao 10 . . . . .	57
34	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 11 ao 20 . . . . .	57
35	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 21 ao 30 . . . . .	58
36	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 31 ao 40 . . . . .	58
37	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 41 ao 50 . . . . .	59
38	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 51 ao 60 . . . . .	59
39	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 61 ao 70 . . . . .	60
40	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 71 ao 80 . . . . .	60
41	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 81 ao 90 . . . . .	61
42	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 20% do 91 ao 100 . . . . .	61
43	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 01 ao 10 . . . . .	62
44	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 11 ao 20 . . . . .	62
45	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 21 ao 30 . . . . .	63
46	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 31 ao 40 . . . . .	63
47	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 41 ao 50 . . . . .	64
48	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 51 ao 60 . . . . .	64
49	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 61 ao 70 . . . . .	65
50	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 71 ao 80 . . . . .	65
51	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 81 ao 90 . . . . .	66
52	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 50% do 91 ao 100 . . . . .	66
53	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 01 ao 10 . . . . .	67
54	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 11 ao 20 . . . . .	67
55	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 21 ao 30 . . . . .	68
56	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 31 ao 40 . . . . .	68
57	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 41 ao 50 . . . . .	69
58	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 51 ao 60 . . . . .	69
59	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 61 ao 70 . . . . .	70
60	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 71 ao 80 . . . . .	70
61	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 81 ao 90 . . . . .	71
62	<i>Makespan</i> dos cenários 5 máquinas e 70% do 91 ao 100 . . . . .	71

63	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 01 ao 10 . . . . .	72
64	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 11 ao 20 . . . . .	72
65	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 21 ao 30 . . . . .	73
66	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 31 ao 40 . . . . .	73
67	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 41 ao 50 . . . . .	74
68	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 51 ao 60 . . . . .	74
69	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 61 ao 70 . . . . .	75
70	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 71 ao 80 . . . . .	75
71	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 81 ao 90 . . . . .	76
72	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 20% do 91 ao 100 . . . . .	76
73	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 01 ao 10 . . . . .	77
74	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 11 ao 20 . . . . .	77
75	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 21 ao 30 . . . . .	78
76	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 31 ao 40 . . . . .	78
77	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 41 ao 50 . . . . .	79
78	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 51 ao 60 . . . . .	79
79	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 61 ao 70 . . . . .	80
80	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 71 ao 80 . . . . .	80
81	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 81 ao 90 . . . . .	81
82	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 50% do 91 ao 100 . . . . .	81
83	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 01 ao 10 . . . . .	82
84	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 11 ao 20 . . . . .	82
85	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 21 ao 30 . . . . .	83
86	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 31 ao 40 . . . . .	83
87	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 41 ao 50 . . . . .	84
88	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 51 ao 60 . . . . .	84
89	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 61 ao 70 . . . . .	85
90	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 71 ao 80 . . . . .	85
91	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 81 ao 90 . . . . .	86
92	<i>Makespan</i> dos cenários 10 máquinas e 70% do 91 ao 100 . . . . .	86
93	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 01 ao 10 . . . . .	87
94	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 11 ao 20 . . . . .	87
95	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 21 ao 30 . . . . .	88
96	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 31 ao 40 . . . . .	88
97	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 41 ao 50 . . . . .	89
98	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 51 ao 60 . . . . .	89
99	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 61 ao 70 . . . . .	90

100	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 71 ao 80 . . . . .	90
101	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 81 ao 90 . . . . .	91
102	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 20% do 91 ao 100 . . . . .	91
103	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 01 ao 10 . . . . .	92
104	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 11 ao 20 . . . . .	92
105	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 21 ao 30 . . . . .	93
106	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 31 ao 40 . . . . .	93
107	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 41 ao 50 . . . . .	94
108	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 51 ao 60 . . . . .	94
109	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 61 ao 70 . . . . .	95
110	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 71 ao 80 . . . . .	95
111	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 81 ao 90 . . . . .	96
112	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 50% do 91 ao 100 . . . . .	96
113	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 01 ao 10 . . . . .	97
114	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 11 ao 20 . . . . .	97
115	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 21 ao 30 . . . . .	98
116	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 31 ao 40 . . . . .	98
117	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 41 ao 50 . . . . .	99
118	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 51 ao 60 . . . . .	99
119	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 61 ao 70 . . . . .	100
120	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 71 ao 80 . . . . .	100
121	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 81 ao 90 . . . . .	101
122	<i>Makespan</i> dos cenários 15 máquinas e 70% do 91 ao 100 . . . . .	101

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto da pesquisa	1
1.1.1	Motivação da pesquisa	1
1.2	Descrição do problema	4
1.3	Objetivo geral	5
1.3.1	Objetivos específicos	5
1.4	Procedimentos metodológicos	5
1.4.1	Classificação da pesquisa	5
1.4.2	Etapas da pesquisa	6
1.5	Justificativa da pesquisa	6
1.6	Estrutura do trabalho	7
<b>2</b>	<b>Referencial teórico</b>	<b>8</b>
2.1	Planejamento e programação da produção	8
2.1.1	Técnicas de <i>lot streaming</i>	8
2.2	Simulação de Monte Carlo	11
<b>3</b>	<b>Resultados</b>	<b>12</b>
3.1	Planejamento do experimento	12
3.1.1	Geração dos dados	12
3.1.2	Modelagem do problema	14
3.1.3	Resultados gerados pelas simulações	15
3.1.4	Análise dos resultados	24
<b>4</b>	<b>Conclusões</b>	<b>27</b>
4.1	Limitações da pesquisa e propostas futuras	28
<b>Referências</b>		<b>29</b>
<b>A</b>	<b>Apêndice - Cenários com 5 máquinas e variação de até 20%</b>	<b>33</b>
<b>B</b>	<b>Apêndice - Cenários com 5 máquinas e variação de até 50%</b>	<b>36</b>
<b>C</b>	<b>Apêndice - Cenários com 5 máquinas e variação de até 70%</b>	<b>39</b>
<b>D</b>	<b>Apêndice - Cenários com 10 máquinas e variação de até 20%</b>	<b>42</b>
<b>E</b>	<b>Apêndice - Cenários com 10 máquinas e variação de até 50%</b>	<b>45</b>

F Apêndice - Cenários com 10 máquinas e variação de até 70% . . . . .	48
G Apêndice - Cenários com 15 máquinas e variação de até 20% . . . . .	51
H Apêndice - Cenários com 15 máquinas e variação de até 50% . . . . .	53
I Apêndice - Cenários com 15 máquinas e variação de até 70% . . . . .	55
J Apêndice - Comparaçao dos <i>Makespan</i> dos cenários com 5 máquinas e variação de até 20% . . . . .	57
K Apêndice - Comparaçao dos <i>Makespan</i> dos cenários com 5 máquinas e variação de até 50% . . . . .	62
L Apêndice - Comparaçao dos <i>Makespan</i> dos cenários com 5 máquinas e variação de até 70% . . . . .	67
M Apêndice - Comparaçao dos <i>Makespan</i> dos cenários com 10 máquinas e variação de até 20% . . . . .	72
N Apêndice - Comparaçao dos <i>Makespan</i> dos cenários com 10 máquinas e variação de até 50% . . . . .	77
O Apêndice - Comparaçao dos <i>Makespan</i> dos cenários com 10 máquinas e variação de até 70% . . . . .	82
P Apêndice - Comparaçao dos <i>Makespan</i> dos cenários com 15 máquinas e variação de até 20% . . . . .	87
Q Apêndice - Comparaçao dos <i>Makespan</i> dos cenários com 15 máquinas e variação de até 50% . . . . .	92
R Apêndice - Comparaçao dos <i>Makespan</i> dos cenários com 15 máquinas e variação de até 70% . . . . .	97

# 1 Introdução

## 1.1 Contexto da pesquisa

Empresas de manufatura e serviços, em geral, trabalham permanentemente com a perspectiva de melhoria contínua. Essa melhoria pode ser obtida por meio da aplicação dos mais diversos métodos e técnicas em várias áreas da produção e etapas do processo, dependendo da necessidade da gerência em resolver determinado problema.

Em um sistema produtivo, o planejamento e programação da produção são etapas importantes no processo de produção, necessitando do uso de técnicas e funções precisas para o melhor desenvolvimento do processo e obtenção de resultados satisfatórios.

O planejamento e a programação são formas de tomada de decisão que são usadas regularmente em indústrias de manufatura e serviços. Ainda, as funções do planejamento e programação em uma empresa dependem de técnicas matemáticas e métodos heurísticos que alocam recursos limitados para as atividades a serem realizadas. Essa alocação de recursos deve ser feita de tal forma que a empresa otimize seus objetivos e alcance suas metas (PINEDO, 2009).

Em essência, o planejamento de produção informa quando e quanto produzir (estimativas de capacidade, mão-de-obra, materiais, etc), e a programação da produção informa como produzir (sequenciamento de produção, por exemplo).

Das funções do planejamento e programação da produção, o trabalho explora, para a programação da produção, uma técnica de *scheduling* para problemas modelados usando o princípio de sobreposição de lotes divisíveis (*lot streaming*), para que haja processamento do mesmo lote em paralelo.

### 1.1.1 Motivação da pesquisa

Estimar a capacidade de forma precisa pode garantir que o planejamento e programação da produção sejam satisfatórios para o problema apresentado, uma vez que as decisões de capacidade têm um grande impacto em todas as outras questões de planejamento de produção (HOPP; SPEARMAN, 2001).

Ainda, a importância de uma boa estimativa de capacidade se dá pelo fato de que as decisões tomadas na elaboração de planos de capacidade afetarão vários aspectos diferentes do desempenho, como: os custos, a receita, o capital de giro, a qualidade dos bens ou serviços, a velocidade de resposta à demanda, a confiabilidade da oferta, e a

flexibilidade da capacidade (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2013).

Não obstante, as técnicas de planejamento de capacidade tem dois objetivos principais: a estimativa e a execução. Se o planejamento da capacidade não é preciso, há então um dos cenários: insuficiência ou excesso de capacidade, e consequentemente seus problemas. Uma capacidade insuficiente leva rapidamente à deterioração do desempenho da entrega, ao aumento dos estoques de *work-in-process* (WIP) e à equipe de manufatura frustrada. Por outro lado, o excesso de capacidade pode ser um gasto desnecessário que pode ser reduzido (JACOBS et al., 2011).

Também, é fato conhecido que em um sistema de produção em lotes, quando o lote de produção é grande, os itens passam maior parte do tempo esperando para serem processados ou esperando o restante do lote para ser então ser transferido à outra estação de trabalho. Ainda, a subdivisão em sublotes menores garante a possibilidade da sobreposição das operações consecutivas a fim de reduzir o tempo total de processamento do lote. De fato, diminuir o tamanho dos lotes possibilita a diminuição do tempo de completude das atividades (*makespan*) (TRIETSCH; BAKER, 1993).

Para este trabalho, buscando essa boa estimativa e a diminuição do *makespan*, as técnicas de *lot streaming* foram utilizadas. O *lot streaming* consiste em uma técnica de subdivisão de lotes de produção em sublotes menores, de modo que esses sublotes em operações consecutivas possam ser processados em sobreposição (*overlapping*), isto é, possam ser processados em paralelo.

*Lot streaming* é o processo de dividir um lote em um número de sublotes menores (ou lotes de transferência) para mover os sublotes concluídos de uma máquina (ou estação) para máquinas posteriores para que operações sucessivas possam ser sobrepostas (VENTURA; YOON, 2013).

Quando o *lot streaming* é aplicado, operações (lotes) são divididos em partes menores (sublotes), os quais podem ser processados e transportados individualmente. Se o tamanho dos sublotes forem idênticos para cada operação de um trabalho, os sublotes são chamados consistentes, caso contrário eles são variáveis, os sublotes consistentes são chamados iguais se todos forem do mesmo tamanho. O *lot streaming* é considerado sem intermitência, se todos os sublotes para cada operação tem que ser processado um por um em uma máquina, ou com intermitência, caso contrário (BOŽEK; WERNER, 2017).

Na Figura 1 é ilustrado um exemplo básico do uso das técnicas do *lot streaming*. Há um lote de produção em um sistema de três máquinas com tamanhos de sublotes iguais. Na Figura 1(a), o tempo de processamento do lote 1 (L1) foi de 3 unidades de tempo na máquina 1 (M1), 3 unidades de tempo na máquina 2 (M2), e 6 unidades de tempo na

máquina 3 (M3). Quando o lote não é subdividido, o tempo de completude do lote é de 12 unidades de tempo. Porém, subdividindo o lote L1 em três sublotes de tamanhos iguais (L1, L2 e L3, respectivamente), conforme Figura 1(b), o tempo de completude diminui, pois ocorreu a sobreposição das operações consecutivas. Portanto, o tempo de completude (*makespan*) desse sistema com a subdivisão é de 8 unidades de tempo.

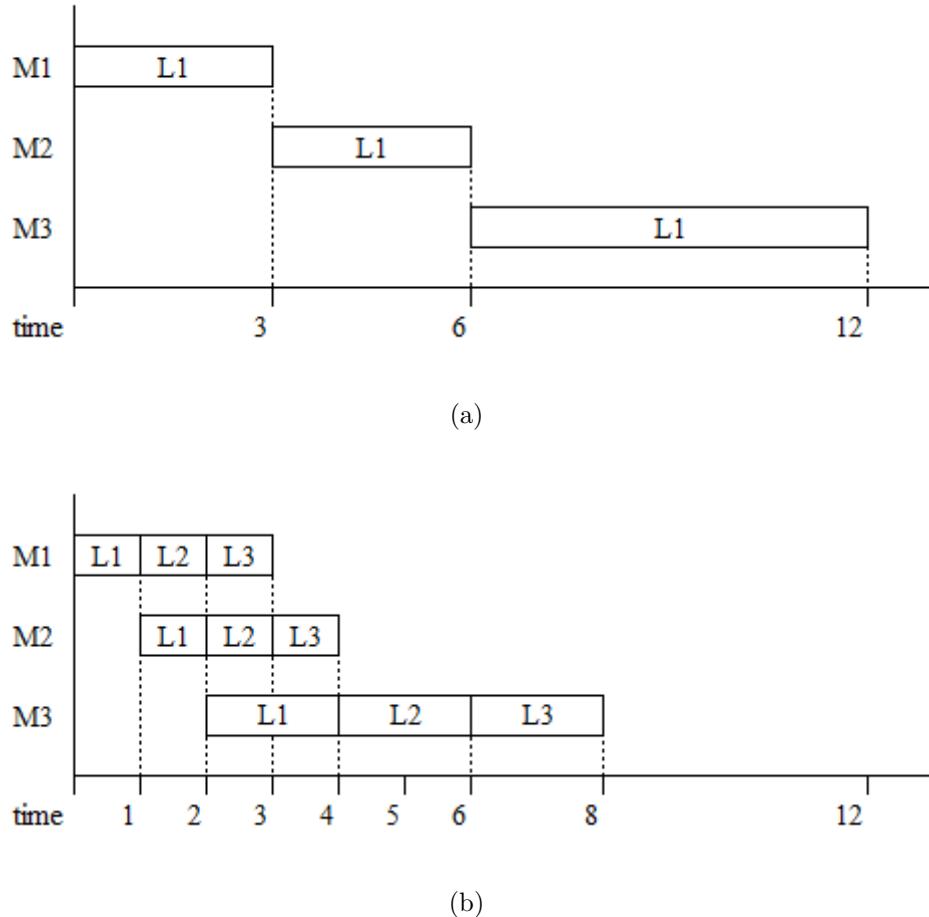


Figura 1: Exemplo de subdivisão de lotes em um sistema de três máquinas, adaptado de (VENTURA; YOON, 2013).

O *lot streaming* claramente é capaz de diminuir o tempo total de produção (*makespan*), como mostrado no exemplo básico (Figura 1) uma subdivisão simples já é capaz de gerar uma melhoria de 25%, diminuindo então o *makespan* consequentemente aumentando a capacidade do sistema.

Reiterando, decisões de capacidade têm um impacto estratégico na competitividade da produção. Uma estratégia de capacidade tem um forte efeito direto nos custos e muitos efeitos indiretos no desempenho, influenciando outros problemas de planejamento e controle, incluindo planejamento agregado, programação, e controle de chão de fábrica (HOPP; SPEARMAN, 2001). Ou seja, boas estimativas de capacidade geram bons resultados na produção.

## 1.2 Descrição do problema

Recentemente, Božek e Werner (2017) fizeram uma revisão dos estudos com *lot streaming*, apontando que as técnicas de *lot streaming* são objeto de pesquisa há anos (POTTS; BAKER, 1989; BAKER; PYKE, 1990; BAKER; JIA, 1993), e por conta de sua importância prática e complexidade em modelagem e otimização, as técnicas ainda são utilizadas hoje em dia. As técnicas são utilizadas em conjunção com o *flow shop* (POTTS; BAKER, 1989; LIU, 2003; BISKUP; FELDMANN, 2006; TSENG; LIAO, 2008; EDIS; ORNEK, 2009b; DEFERSHA; CHEN, 2010; DEFERSHA; CHEN, 2012b; VENTURA; YOON, 2013; MORTEZAEI; ZULKIFLI, 2014), o *job shop* (LOW; HSU; HUANG, 2004; CHAN; WONG; CHAN, 2008; PETROVIC et al., 2008; EDIS; ORNEK, 2009a; LEI; GUO, 2013) e o *FJS* (*job shop* flexível) (BAI et al., 2009; DEFERSHA; CHEN, 2012a; CALLEJA; PASTOR, 2014; DEMIR; İŞLEYEN, 2014; ROHANINEJAD; KHEIRKHAH; FATTAAHI, 2015; BOZEK; WYSOCKI, 2016).

Os mesmos autores ainda afirmam que os trabalhos com formulações com sublotes iguais (POTTS; BAKER, 1989; CHAN; WONG; CHAN, 2004; CHAN; WONG; CHAN, 2008; LOW; HSU; HUANG, 2004; TSENG; LIAO, 2008; EDIS; ORNEK, 2009a; PAN; RUIZ, 2012; VENTURA; YOON, 2013; CALLEJA; PASTOR, 2014) ou sublotes consistentes (POTTS; BAKER, 1989; LOW; HSU; HUANG, 2004; CHAN; WONG; CHAN, 2008; EDIS; ORNEK, 2009b; BAI et al., 2009; DEFERSHA; CHEN, 2012b; LEI; GUO, 2013; DEMIR; İŞLEYEN, 2014) são os mais comumente utilizados. Os trabalhos com problemas de *lot streaming* mais complexos com sublotes variáveis são mais raros (LIU, 2003; BISKUP; FELDMANN, 2006; PETROVIC et al., 2008; DEFERSHA; CHEN, 2010; MORTEZAEI; ZULKIFLI, 2014).

Ainda, são analisados vários trabalhos com *lot streaming* combinado com as mais diversas técnicas de dimensionamento de lotes (*Lot Sizing*), e também com diversas abordagens de otimização. Em nenhum trabalho houve uma abordagem que estabelecesse uma regra geral para o *lot streaming* ( $m$  máquinas e  $n$  sublotes), tamanha a complexidade do problema. A forma mais comum de se trabalhar com sistemas que possuem diversas máquinas é subdividir o problema de  $m$  máquinas em  $m - 1$  problemas de 2 máquinas, uma vez que este está bem consolidado na literatura.

Além disso, problemas com sublotes variáveis, devido sua complexidade, são pouco explorados na literatura, apesar de que em casos reais, empresas de manufatura tendem a trabalhar com sublotes variáveis, por conta da configuração de seus maquinários.

Diante disso, nota-se uma lacuna na literatura, onde não há uma abordagem as técnicas de *lot streaming* que simplifique a sua aplicação em sistemas mais complexos,

ou seja, com sublotes variáveis. A fim de preencher essa lacuna, este trabalho objetiva de propor uma alternativa por meio de uma teoria empírica que consiste em calcular um sistema balanceado no qual seus tempos de processamento sejam equivalentes aos do sistema desbalanceado em uso, de modo a apresentar uma solução satisfatória. Este sistema balanceado que é equivalente ao sistema desbalanceado será chamado a partir de agora de cenário equilibrado equivalente, e seus cálculos são apresentados nas Equações 1, 2 e 3.

A questão norteadora da pesquisa portanto é: como resolver um problema complexo de *lot streaming* de maneira simples e barata, que ao mesmo tempo apresente resultados satisfatórios de estimativa de capacidade e proporcione ao gestor identificar oportunidades de melhoria em seu sistema produtivo?

### **1.3 Objetivo geral**

Oferecer uma teoria empírica para estimativa de capacidade de sistemas produtivos utilizando as técnicas de *Lot Streaming*.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Realizar simulações de cenários aleatórios de sistemas produtivos que sejam processados em *overlapping*;
- b) Calcular o cenário equilibrado equivalente para cada cenário aleatório gerado;
- c) Comparar os resultados gerados e determinar o desvio entre eles.

### **1.4 Procedimentos metodológicos**

#### **1.4.1 Classificação da pesquisa**

Segundo Gil (2017), as pesquisas podem se referir aos mais diversos objetos e perseguir objetivos muito distintos. Classificar uma pesquisa se torna essencial para uma melhor organização dos fatos e, por consequência, seu entendimento.

Portanto, esta pesquisa foi classificada utilizando alguns critérios como quanto à finalidade a pesquisa classifica-se como aplicada, uma vez que a pesquisa é voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica; quanto à natureza dos dados classifica-se como pesquisa quantitativa por utilizar-se de métodos

numéricos para a análise dos dados; e, quanto ao método a pesquisa é dedutiva, estatística e experimental.

#### **1.4.2 Etapas da pesquisa**

A pesquisa se deu seguindo as seguintes etapas:

- Levantamento do referencial teórico sobre o tema da pesquisa;
- Geração de cenários aleatórios de sistemas produtivos para simulações;
- Cálculo dos cenários equilibrados equivalentes aos cenários gerados;
- Simulações dos cenários de sistemas de produção utilizando as técnicas de *lot streaming*;
- Comparação dos resultados gerados pelos cenários aleatórios e seus equivalentes equilibrados;
- Avaliação e análise dos resultados gerados.

#### **1.5 Justificativa da pesquisa**

É conhecido na literatura que, geralmente, trabalhar com sistemas de produção equilibrados são mais fáceis de serem trabalhados em qualquer tipo de empresa, justamente por não necessitar de um grande conhecimento técnico para a realização do planejamento e da programação, por consequência disso se torna extremamente barato quando comparado aos sistemas desequilibrados. Além disso, sistemas desequilibrados, quando não planejados de maneira adequada, tendem a gerar sobrecarga em alguma estação de trabalho do sistema, isto é, gargalos. Portanto é necessário analisar o balanceamento da linha de produção para que o processo de produção ocorra em fluxo contínuo (SYAHPUTRI et al., 2018).

Balancear a capacidade de produção no chão-de-fábrica, isto é, equilibrar o sistema de produção, pode eventualmente eliminar ou reduzir os efeitos negativos dos gargalos na eficiência total da fábrica (VARELA et al., 2017).

Entretanto, em casos reais, empresas de manufatura geralmente acabam trabalhando com sistemas desequilibrados em seus chãos-de-fábrica, o que acarreta em um desafio para o gestor tanto no planejamento de produção quanto principalmente na programação da produção.

Portanto, oferecer uma alternativa mais fácil e mais barata ao planejamento e programação da produção que diminua os efeitos do sistema desequilibrado é de extrema relevância tanto no ponto de vista prático do dia-a-dia da fábrica quanto para a academia científica.

O trabalho apresenta uma teoria empírica onde é possível estimar um sistema equilibrado equivalente a partir de um sistema desequilibrado, de modo que pode-se comparar o quanto aquele sistema pode melhorar em relação a alternativa apresentada, cabendo ao gestor avaliar se a diferença de desempenho entre os sistemas é válida ou não à aplicação.

## 1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em 4 capítulos, divididos da seguinte forma:

- O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, contendo a contextualização, o objetivo geral, os objetivos específicos, a metodologia utilizada, a justificativa da pesquisa e a organização do trabalho;
- O capítulo 2 apresenta a revisão teórica do trabalho, fazendo um apanhado geral dos principais pesquisadores nos temas abordados na pesquisa;
- O capítulo 3 apresenta os resultados da pesquisa, bem como uma análise dos resultados gerados;
- O capítulo 4, por fim, apresenta as considerações finais da pesquisa e algumas propostas de pesquisas futuras.

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Planejamento e programação da produção

Para Li e Ierapetritou (2010), planejamento e programação da produção pertencem a diferentes níveis de tomada de decisão nas operações de processo. Apesar disso, ambos estão estreitamente relacionados, uma vez que o resultado do problema de planejamento é o objetivo de produção do problema de programação.

Os autores ainda afirmam que, o modelo de planejamento da produção é usado para prever a meta de produção e o fluxo de material para até um ano, e geralmente a produção é representada de maneira simplificada e formulada como um problema linear. Já os modelos de programação da produção são mais detalhados assumindo que as decisões-chave (como as metas de produção) sejam atendidas.

Planejamento e Programação da Produção focam em gerar detalhados programações de produção para o chão-de-fábrica sobre um relativo curto intervalo de tempo. Uma programação de produção indica, para cada ordem a ser executada dentro do intervalo de planejamento, os tempos de início e término dos recursos necessários para processamento. Consequentemente, uma programação de produção também especifica a sequência de pedido de um dado recurso (STADTLER, 2015).

Na programação da produção, é conhecido que, no problema de *Flow Shop*, há  $n$  *jobs* os quais devem ser processados por um conjunto de  $m$  máquinas consecutivas em um sistema de produção multi-estágio. Cada *job* tem um tempo de processamento em cada máquina (PESSOA; ANDRADE, 2018). Uma das técnicas trabalhadas no problema de *flow shop* é o *lot streaming*.

#### 2.1.1 Técnicas de *lot streaming*

*Lot streaming* é o processo ao qual divide-se um *job* em sublotes menores a fim de que suas operações ocorram em sobreposição. O objetivo da técnica de *Lot Streaming* é o de determinar valor ótimo para o tamanho dos sublotes e portanto minimizar o *makespan*, onde este é o valor do tempo de conclusão da última operação em um cronograma (POTTS; BAKER, 1989; BAKER, 1995; BOŽEK; WERNER, 2017; MUKHERJEE; SARIN; SINGH, 2017).

Para Defersha e Chen (2012b), *lot streaming* é uma técnica para dividir um dado lote, consistindo de itens idênticos, em sublotes para permitir a sobreposição de sucessivas operações em sistemas de manufatura multi-estágio reduzindo assim o *makespan* da

produção.

Cheng, Mukherjee e Sarin (2013) complementa que o *lot streaming* é uma técnica que pode efetivamente aumentar a velocidade do fluxo de material sobre as máquinas, e portanto reduz o tempo de completude de produção, tempo de ciclo, e estoque médio de *work-in-process* (WIP). Também reduz a quantidade de espaço de armazenamento, bem como a capacidade de equipamento de manuseio de materiais necessária. Em sumário, *lot streaming* envolve dividir um lote de produção em sublotes de tamanhos menores, e então processá-los de uma forma sobreposta sobre as máquinas.

Geralmente, o objetivo do *lot streaming* é determinar o número de sublotes para cada produto, o tamanho de cada sublote e a sequência de processamento dos sublotes, de modo que um determinado objetivo seja otimizado (MORTEZAEI; ZULKIFLI, 2013).

Os modelos de *lot streaming* podem variar conforme número de máquinas, propriedade do tamanho dos sublotes, modelo discreto ou contínuo e, não-ociosidade ou ociosidade intermitente (TRIETSCH; BAKER, 1993; MORTEZAEI; ZULKIFLI, 2014; BOŽEK; WERNER, 2017).

Pode-se classificar as propriedades do tamanho de lotes em: iguais, consistentes e variados. Para tamanhos de lotes iguais, todos os lotes tem o mesmo tamanho, tanto no carregamento, quanto de uma máquina a outra. Nos casos com lotes consistentes, o carregamento pode variar, porém o tamanho se mantém entre os processos das máquinas. Já nos lotes variados, os tamanhos variam tanto no carregamento, quanto de uma máquina a outra. Esses tamanhos de lotes podem ser representados de maneira contínua (podendo ser números reais) ou discreta (assumindo valores inteiros). Por fim, em relação a ociosidade, a intermitente ocorre quando as máquinas permitem um tempo de ociosidade (*idle time*) entre o processo de dois sublotes consecutivos. Em caso contrário, o modelo é tratado como não-ociosidade. Portanto, o modelo mais geral o caso com lotes variados, ociosidade intermitente e caso contínuo.

Trietsch e Baker (1993) apresentam um exemplo de cenário em que o *lot streaming* é aplicado e resolvido de diferentes maneiras. Considerando um exemplo contendo um lote de 84 itens a serem processados em três máquinas, sendo a máquina 1, 2 e 3, com tempos de processamento de 2, 1 e 3 minutos por item, respectivamente. Sem a divisão do lote, ou seja, sem o uso do *lot streaming*, o *makespan* é de 504 minutos.

Em um primeiro caso onde considera-se dois sublotes iguais e sem ociosidade entre máquinas, chega-se ao *makespan* de 420 minutos, redução de 16,7%, conforme mostrado na Figura 2. Uma segunda situação, Figura 3, onde continua-se com dois sublotes iguais, porém permitindo a ociosidade intermitente, o *makespan* é reduzido para 378 minutos,

melhoria de 25%. Já na Figura 4, é permitido que os lotes sejam variados entre os pares de máquinas, reduzindo o *makespan* para 385, representando uma redução de 23,6%. Por fim, permitindo a variabilidade dos sublotes e ociosidade intermitente, obtém-se o tempo total de 360 minutos, redução de 28,6%, Figura 5. Ainda, os autores destacam que neste último em particular os sublotes se mantiveram consistentes no decorrer do sistema, diferentemente do problema da Figura 4, ao qual eles variaram.

Kalir e Sarin (2000) apresentam e comprovam os potenciais benefícios do *lot streaming* em sistemas de *flow shop*. Os autores optaram por utilizar resultados analíticos para comprovar os benefícios ao invés de simulações, alegando que simulações são limitados pelos dados, já os resultados analíticos possuem um apelo geral do problema. Os resultados da pesquisa apresentaram melhorias significativas no *makespan*, tempo de fluxo médio e no nível médio de WIP, comprovando assim a vantagem do uso das técnicas de *lot streaming*.

Já para Ventura e Yoon (2013) os benefícios do *lot streaming* incluem reduções nos tempos de completude da atividade e do WIP, e também aumentando as taxas de utilização das máquinas do sistema.

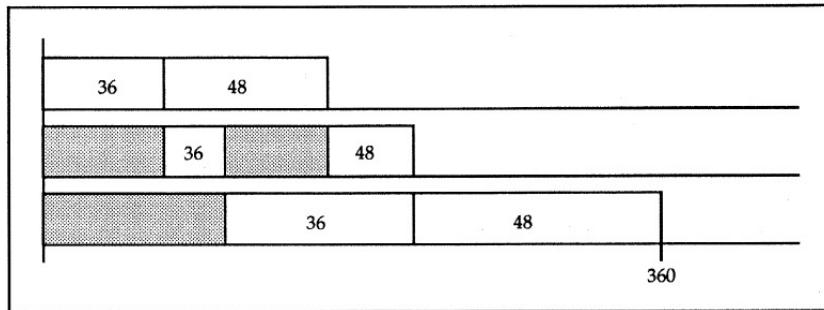


Figura 2: Solução para o exemplo com dois lotes iguais e sem ociosidade

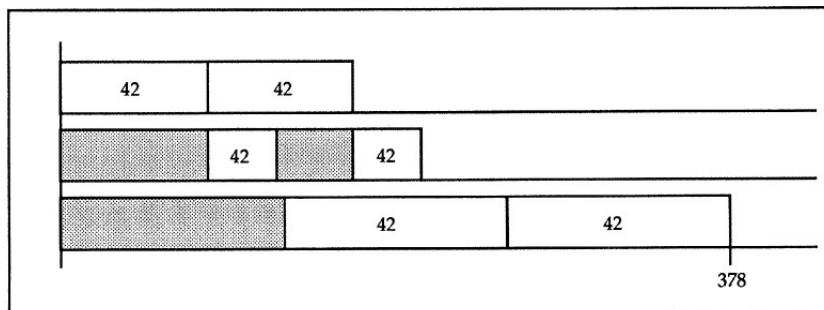


Figura 3: Solução para o exemplo com dois lotes iguais e ociosidade intermitente

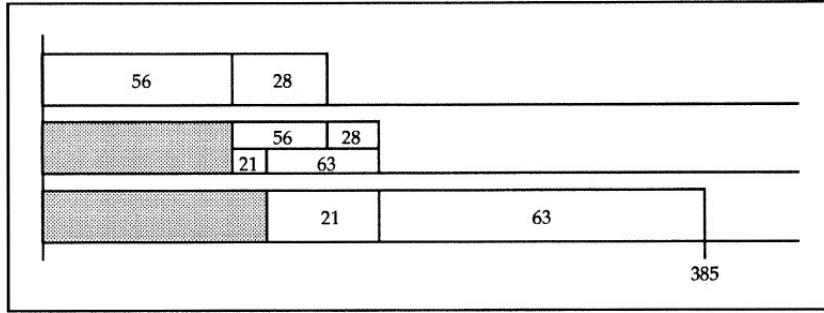


Figura 4: Solução para o exemplo com dois lotes variáveis e sem ociosidade

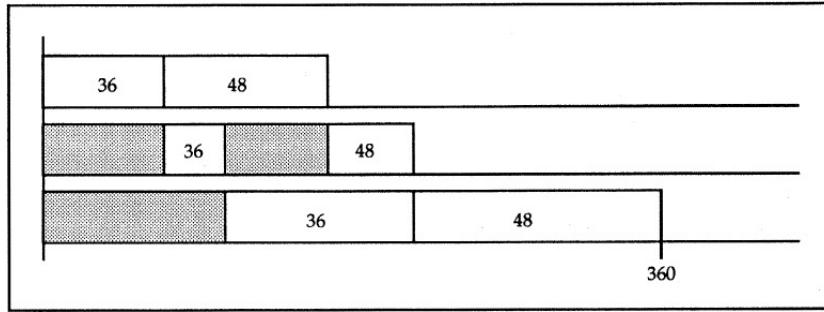


Figura 5: Solução para o exemplo com dois lotes variáveis e ociosidade intermitente

## 2.2 Simulação de Monte Carlo

Segundo Conte (2016), o método de Monte Carlo é um processo de operações de modelos estatísticos de modo a lidar experimentalmente com variáveis descritas por funções probabilísticas. Esse método baseia-se em um conceito estatístico simples.

Seja  $x$  uma variável aleatória com as seguintes características: função de probabilidade ( $f(x)$ ) e função cumulativa de probabilidades ( $F(x)$ ).

O método de Monte Carlo consiste em:

- Dada a função cumulativa de probabilidades da variável em simulação  $F(x)$ , toma-se um número, gerado aleatoriamente;
- Usando a função cumulativa de probabilidades, determina-se o valor da variável  $x$  que corresponde ao número aleatório gerado;
- Procedimento de validação que objetiva certificar se a transformação (*input/output*) realizada pelo modelo tem a mesma ocorrência procedida no sistema real. Utiliza-se a validação as medidas de posição, dispersão, coeficiente de correlação amostral e testes de hipóteses estatísticas.

## 3 Resultados

### 3.1 Planejamento do experimento

Na fase inicial desse estudo diversos experimentos numéricos realizados sugeriram que sistemas desequilibrados podiam ser representados usando-se sistemas equilibrados equivalentes em certo sentido específico, com um erro que podia ser estimado a priori.

Então foi planejado e executado um experimento numérico para testar a seguinte hipótese: O *makespan* de sistemas de manufatura com  $m$  máquinas e  $n$  lotes com tempos distintos  $p_i$  de processamento em cada máquina  $i$  podem ser estimados adequadamente usando-se um tempo médio  $p$  para cada máquina?

Deste modo, o planejamento do experimento foi baseado na geração de cenários aleatórios de sistemas produtivos a fim de realizar simulações. O planejamento então seguiu as seguintes etapas:

- Geração dos dados do problema (cenários);
- Modelagem do problema no *Software R*;
- Execução das simulações utilizando dados os cenários gerados e geração dos resultados;
- Análise os resultados das simulações.

#### 3.1.1 Geração dos dados

Na literatura, a teoria para as técnicas de *Lot Streaming* com sistemas de 2 e 3 máquinas já estão bem consolidadas, portanto o experimento buscou simular cenários com 5, 10 e 15 máquinas, a fim de ter uma visão mais geral do problema, uma vez que os problemas mais gerais (de  $m$  máquinas) podem ser resolvidos em  $m - 1$  subproblemas de pares de máquinas. Além de variar o número de máquinas ( $m$ ), o tempo de processamento das máquinas ( $p$ ) variou em até 20%, 50% e 70% entre os pares de máquinas, de modo que permitisse observar a diferença entre sistemas mais equilibrados e menos equilibrados.

Portanto, foram gerados 9 grupos de cenários aleatórios, sendo eles cenários com:

- 5 máquinas com variação até 20%;
- 5 máquinas com variação até 50%;

- 5 máquinas com variação até 70%;
- 10 máquinas com variação até 20%;
- 10 máquinas com variação até 50%;
- 10 máquinas com variação até 70%;
- 15 máquinas com variação até 20%;
- 15 máquinas com variação até 50%;
- 15 máquinas com variação até 70%.

Os tempos de máquinas de cada cenários foram gerados de maneira aleatória seguindo as condições de variação correspondentes. Os tempos de processamento de cada máquina foi gerado da seguinte maneira: o tempo de processamento da máquina  $m_1$  ( $p_1$ ) foi obtido de uma distribuição normal de média 9 com desvio padrão de 3. Para  $p_2$ , utilizou-se o tempo  $p_1$  e definiu uma variação de até 20, 50 ou 70% para mais ou para menos de acordo com a restrição do conjunto. O processo se repete até  $p_m$  (tempo de processamento da máquina  $m$ ).

Em relação à quantidade de itens a serem processadas ( $U$ ), o valor de 2000 unidades foi escolhido, uma vez que o número de sublotes ( $n$ ) a serem divididos foi de 1 a 6, sendo que a partir de 6 sublotes o ganho no *makespan* passa a ser menor que 5%.

Já para os cenários equilibrados equivalentes, foi calculado o tempo apenas de uma máquina ao qual replicou-se para as demais, uma vez que todos os tempos são iguais. Tendo os tempos do cenário desequilibrado  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_m$ , calcula-se uma taxa de tempo médio ( $tx$ ) dado pela Equação 1.

$$tx = \frac{p_1 + 2p_2 + 2p_3 + \dots + p_m}{m - 1} \quad (1)$$

Como o cenário equilibrado equivalente tem todos os tempos de processamento iguais, então  $p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_m$ , chamando o tempo de processamento do cenário equilibrado de  $p_{eq}$ , então temos a Equação 2.

$$tx = \frac{p_{eq} + 2p_{eq} + 2p_{eq} + \dots + p_{eq}}{m - 1} = \frac{(2m - 2)p_{eq}}{m - 1} \quad (2)$$

Logo, chegamos a Equação 3 para obtenção do tempo das máquinas do sistema equilibrado equivalente.

$$p_{eq} = \frac{tx}{2} \quad (3)$$

Com os dados gerados, seguindo a Simulação de Monte Carlo, cada conjunto de cenários foram replicados 100 vezes. Vide Apêndices A, B, C, D, E, F, G, H e I com todos os cenários gerados.

### 3.1.2 Modelagem do problema

A modelagem do problema se deu a partir do uso do *Software R* como ferramenta para modelagem e execução das simulações.

Utilizando-se dos dados gerados pelas simulações e seguindo as premissas das técnicas de *Lot Streaming*, foi possível modelar um sistema de produção com máquinas processando em série, de modo que permitisse também o processamento em sobreposição de alguns itens.

Nas técnicas de *Lot Streaming* para se obter o valor do *Makespan*, é preciso além dos dados do sistema, calcular a quantidade de sublotes ( $n$ ) e o tamanho dos sublotes ( $L$ ).

É importante ressaltar que pelo fato de não existir uma teoria geral para o problema geral de *lot streaming*, os cálculos utilizados são para problemas de 2 máquinas, uma vez que o experimento se deu por meio da resolução de  $m - 1$  subproblemas de 2 máquinas.

A teoria estabelecida para o problema de 2 máquinas, afirma que deve-se determinar o número de sublotes a serem divididos, onde  $U = L_1 + L_2 + \dots + L_n$ . Para o experimento foram simulados começando com 1 sublote (isto é, sem o *Lot Streaming*) até 6 sublotes, uma vez que foi observado que a partir dessa quantidade os ganhos no *Makespan* foram inferiores a 5%.

Ainda, de acordo com Trietsch e Baker (1993), os tamanhos de sublotes devem seguir uma progressão geométrica dada pela Equação 4.

$$L_j = qL_{j-1} = q^{j-1}L_1 \quad (4)$$

Onde,  $q$  é a razão  $p_2/p_1$  (no caso de 2 máquinas).

Como o objetivo é de abranger um caso mais geral o sistema é caracterizado como uma sistema de tamanho de sublotes variáveis, isto é, para cada subproblema de 2 máquinas o tamanho de sublotes é diferente, conforme o exemplo da Figura 4. Ainda, o sistema permite a ociosidade intermitente entre máquinas, entretanto os tamanhos de sublotes é representado de maneira discreta para fins de possível aplicação prática.

Para calcular o *Makespan* (denotado por  $M$ ) foi necessário simular cada subproblema de 2 máquinas, uma vez que o trabalho trata de um problema discreto e não há uma fórmula geral para calcular esse tempo de completude nesta situação, apenas para problemas contínuos.

Além disso, também foi calculado o *Makespan* dos cenários equilibrados equivalente, denotado por  $M_{eq}$ .

Por fim, para cada cenário foi calculado o *Makespan* partindo de 1 sublote à 6 sublotes, da mesma maneira para os cenários equilibrados equivalentes. Tendo ambos resultados em mãos, calcula-se então o desvio gerado pela diferença de desempenho do cenário desequilibrado para o seu equivalente. No decorrer deste trabalho este desvio será chamado de erro ( $e$ ), e é calculado conforme a Equação 5.

$$e = \left| \frac{M - M_{eq}}{M_{eq}} \right| \quad (5)$$

### 3.1.3 Resultados gerados pelas simulações

Rodando, portanto, o programa para cada um dos conjuntos de cenários foi obtido os resultados do *Makespan*, tanto para equilibrado quanto desequilibrado, bem como o erro gerado entre esses tempos de completude.

Na Figura 6, é possível observar o comportamento do *Makespan* de todos os cenários do conjunto com 5 máquinas e variação de até 20%. A Figura 7 é referente aos cenários equilibrados equivalentes deste conjunto. Cada linha dos gráficos representa o *Makespan* de um cenário e mostra como ele vai reduzindo conforme aumenta-se o número de sublotes. Para uma melhor visualização, no Apêndice J, estão os gráficos dos cenários junto aos seus equivalentes, sendo as Figuras 33 a 42. Também, na Figura 8 são representados os erros gerados a partir da Equação 5, como já mencionado.

Para o conjunto de 5 máquinas e até 50% de variação entre pares de máquinas tem-se as Figuras 9 e 10 representando respectivamente o *Makespan* dos cenários aleatórios e os cenários equilibrados equivalentes. A Figura 11 mostra os erros dos cenários desse con-

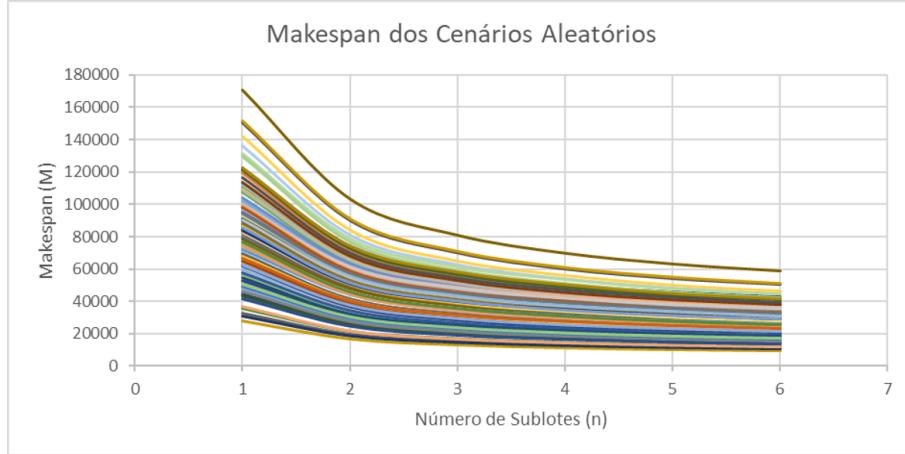


Figura 6: Makespan dos cenários com 5 máquinas e variação de até 20%

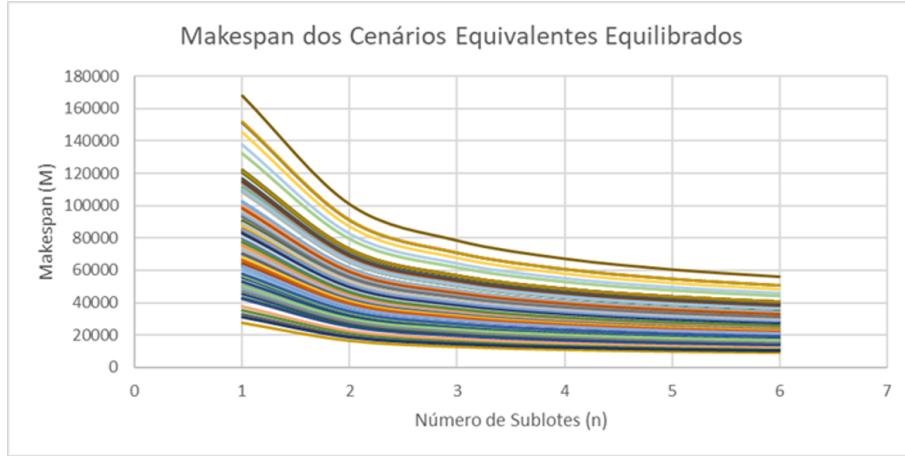


Figura 7: Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 5 máquinas e variação de até 20%

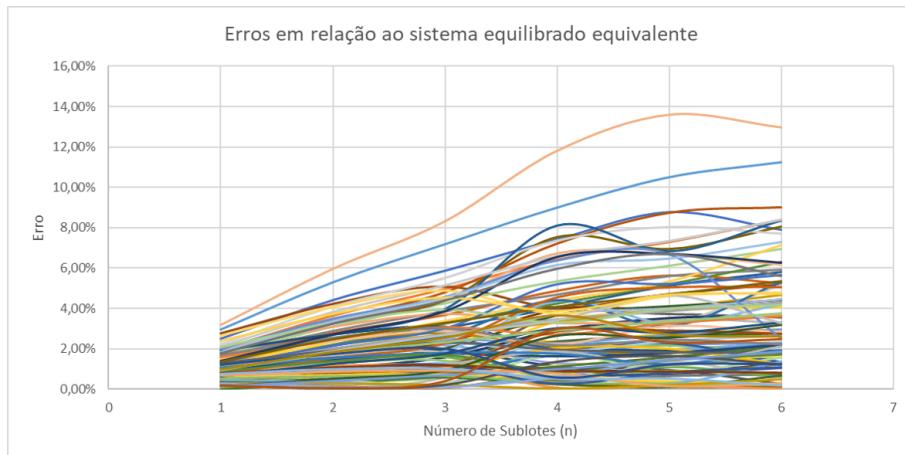


Figura 8: Erros dos cenários com 5 máquinas e variação de até 20%

junto. Seguindo a mesma representação do conjunto anterior, no Apêndice K encontram-se os gráficos comparativos com os cenários detalhados com seus equivalentes (Figuras 43 a 52).

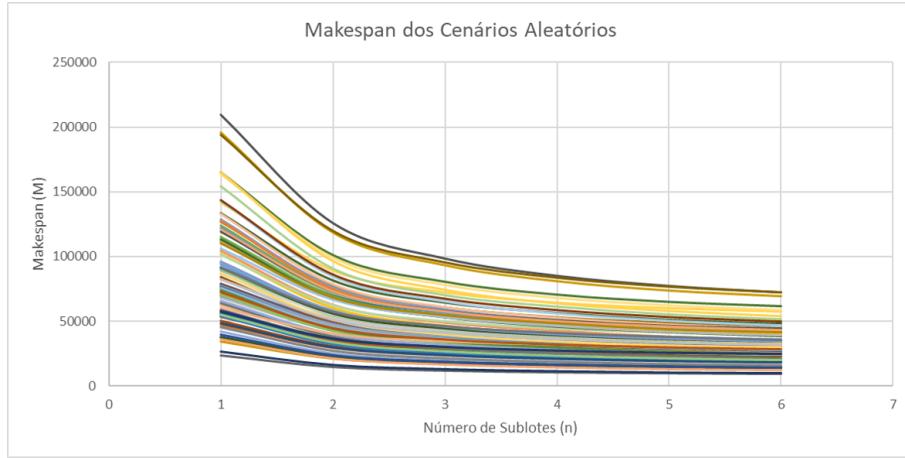


Figura 9: Makespan dos cenários com 5 máquinas e variação de até 50%

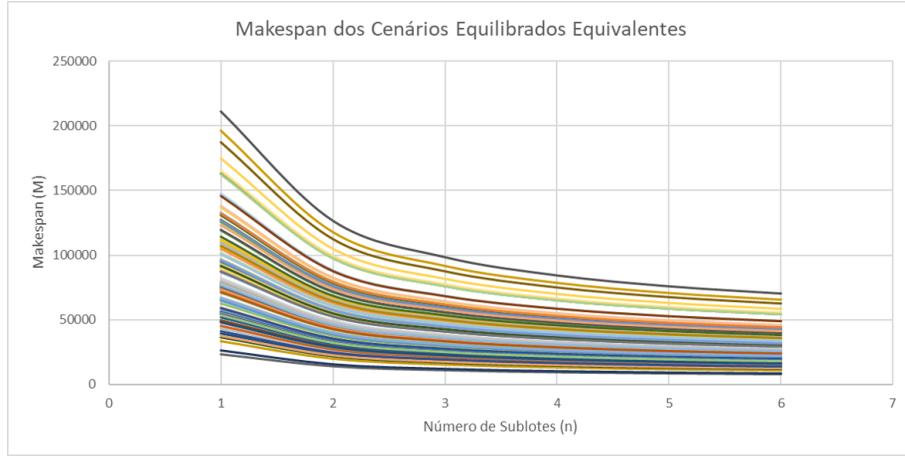


Figura 10: Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 5 máquinas e variação de até 50%

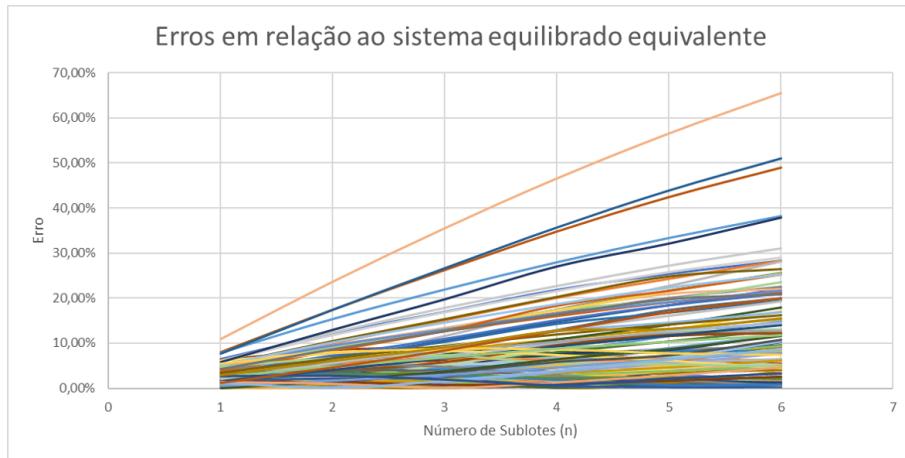


Figura 11: Erros dos cenários com 5 máquinas e variação de até 50%

Continuando nos conjuntos com 5 máquinas, porém este com variação de até 70% representa sistemas de produção extremamente desequilibrados a fim de poder comparar futuramente com os cenários menos desequilibrados. As Figuras 12 e 13 representam

conforme os anteriores, a evolução do *Makespan* dos cenários e seus equivalentes, respectivamente. As comparações mais detalhadas encontram-se no Apêndice L contendo as Figuras 53 a 62. Nesse cenário mais desequilibrado já é possível notar que os erros são bem maiores que os anteriores (Figura 14), sendo melhor explanado no tópico das análises.

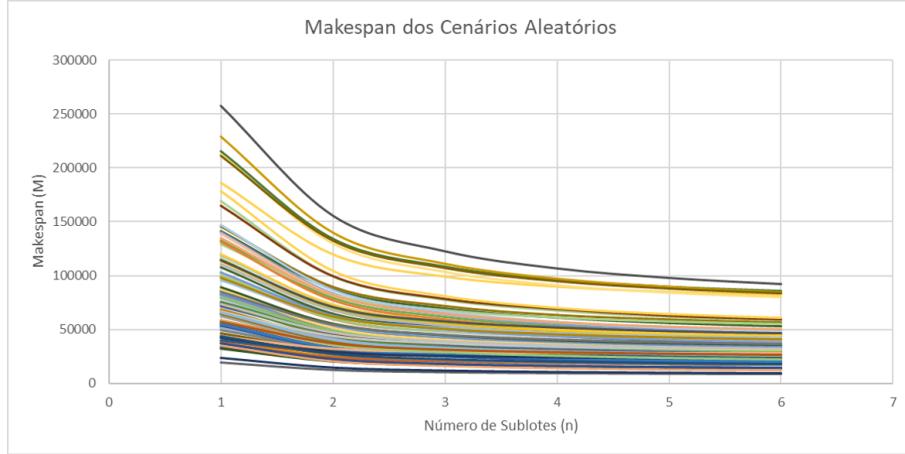


Figura 12: Makespan dos cenários com 5 máquinas e variação de até 70%

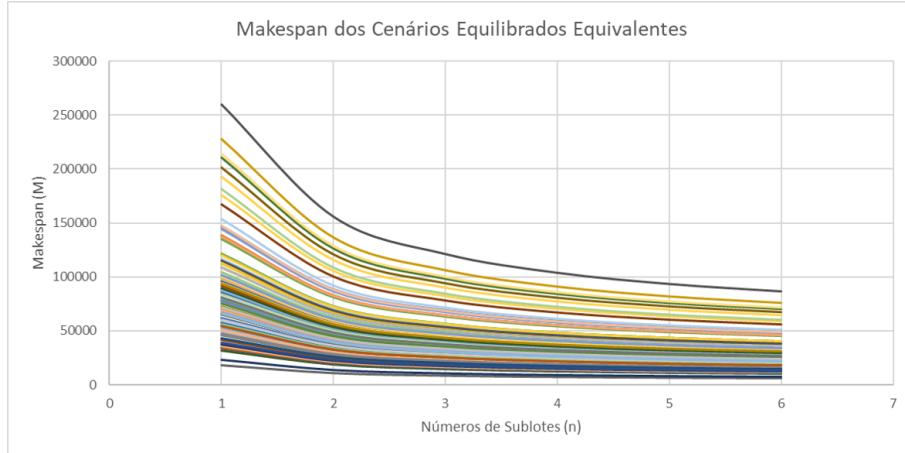


Figura 13: Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 5 máquinas e variação de até 70%

Partindo para os cenários com 10 máquinas, primeiramente com variação de até 20% nos tempos de máquinas. As Figuras 15 e 16 representam o *Makespan* dos cenários desequilibrados bem como os equilibrados referentes a este conjunto, na ordem. Os erros podem ser vistos na Figura 17. No Apêndice M com as Figuras de 63 a 72 estão representados os seus cenários juntos, conforme os anteriores.

Seguindo para os cenários com 10 máquina e, agora, 50% de variação tem-se as Figuras 18 e 19 representando os *Makespan* dos cenários desequilibrados e equilibrados, respectivamente, e a Figura 20 representando os erros gerados pelos resultados gerados

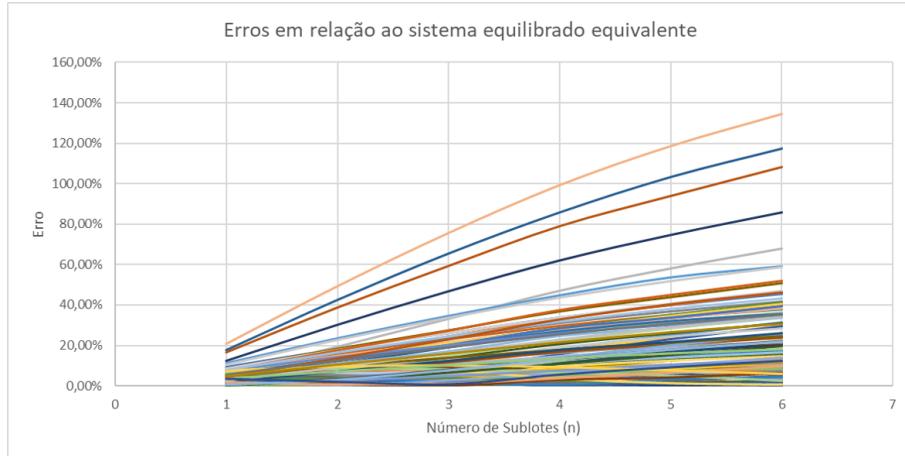


Figura 14: Erros dos cenários com 5 máquinas e variação de até 70%

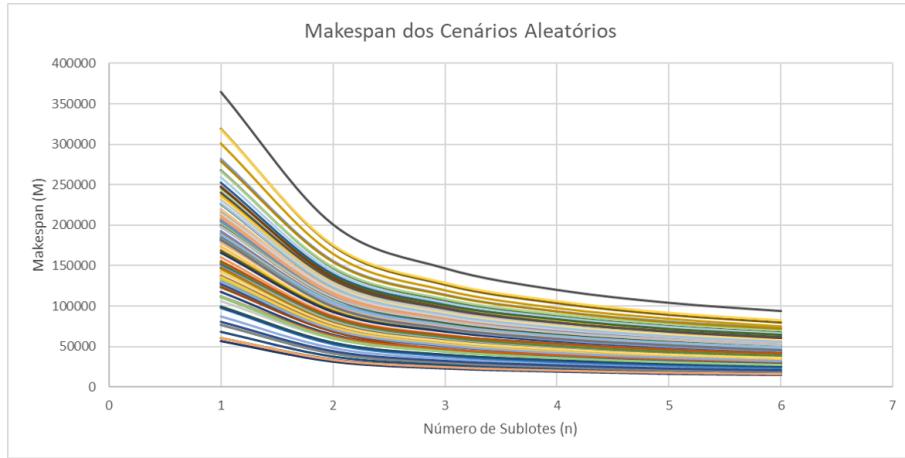


Figura 15: Makespan dos cenários com 10 máquinas e variação de até 20%

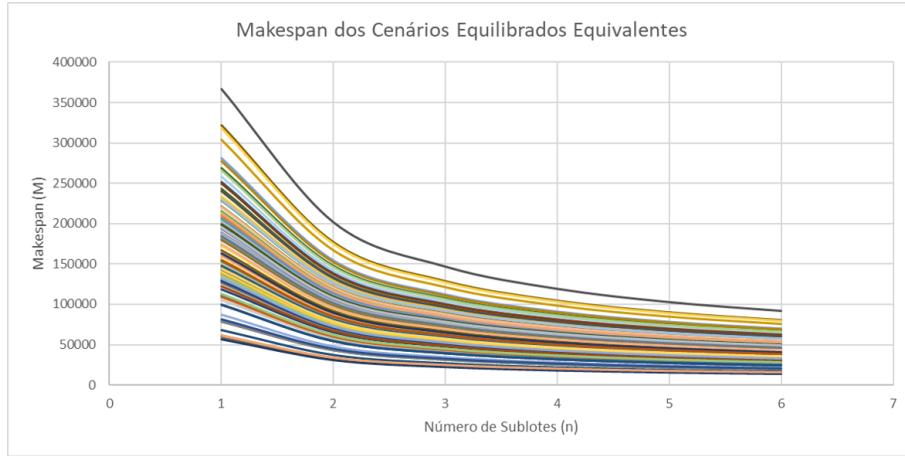


Figura 16: Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 10 máquinas e variação de até 20%

deste conjunto. No Apêndice N encontram-se os cenários mais detalhados (Figuras 73 a 82).

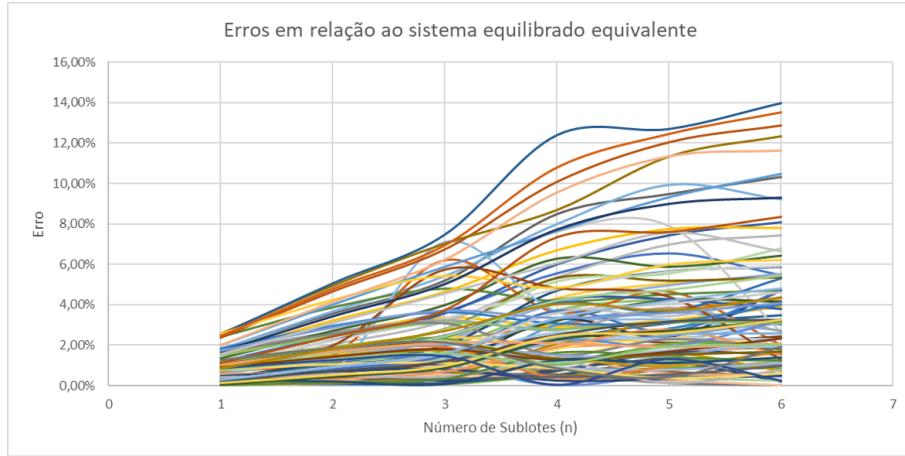


Figura 17: Erros dos cenários com 10 máquinas e variação de até 20%

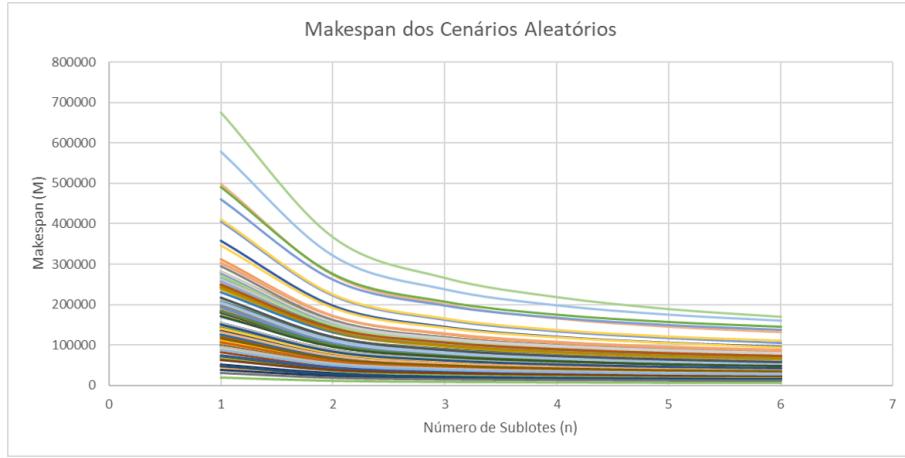


Figura 18: Makespan dos cenários com 10 máquinas e variação de até 50%

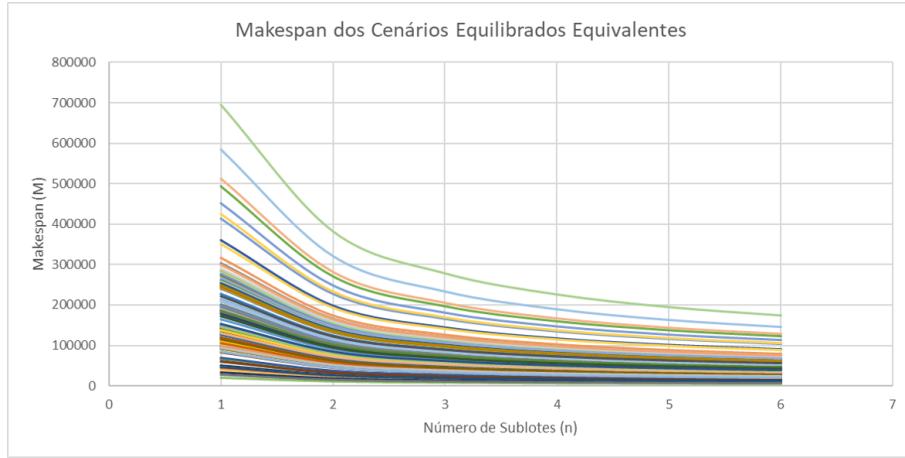


Figura 19: Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 10 máquinas e variação de até 50%

Para o conjunto dos cenários com 10 máquinas e 70% de variação apresenta-se a Figura 21 para o *Makespan* dos cenários aleatórios desequilibrados, e a Figura 22 para seus equivalentes equilibrados, no Apêndice O com as Figuras 83 a 92 apresentam os cenários

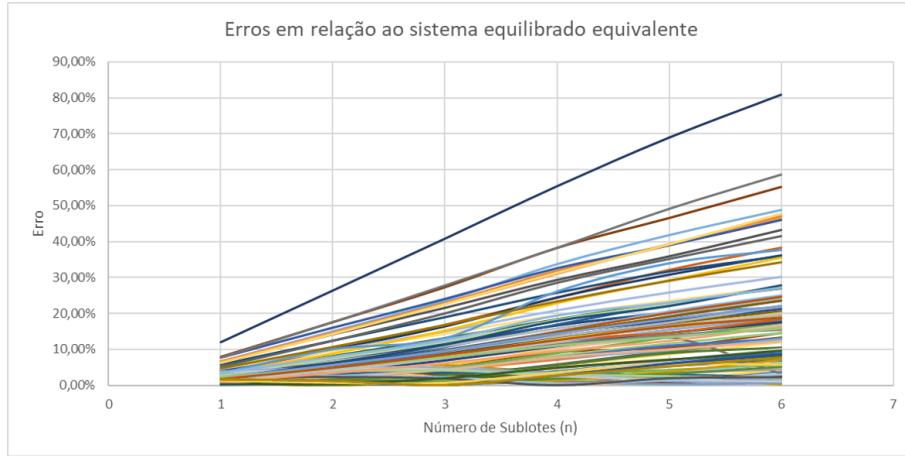


Figura 20: Erros dos cenários com 10 máquinas e variação de até 50%

detalhados. Os erros gerados pela diferença dos *Makespan* é apresentada no gráfico da Figura 23.

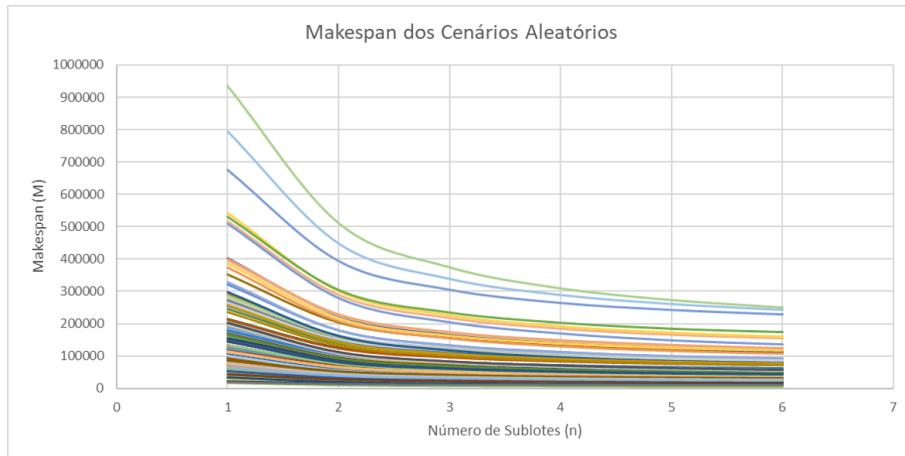


Figura 21: Makespan dos cenários com 10 máquinas e variação de até 70%

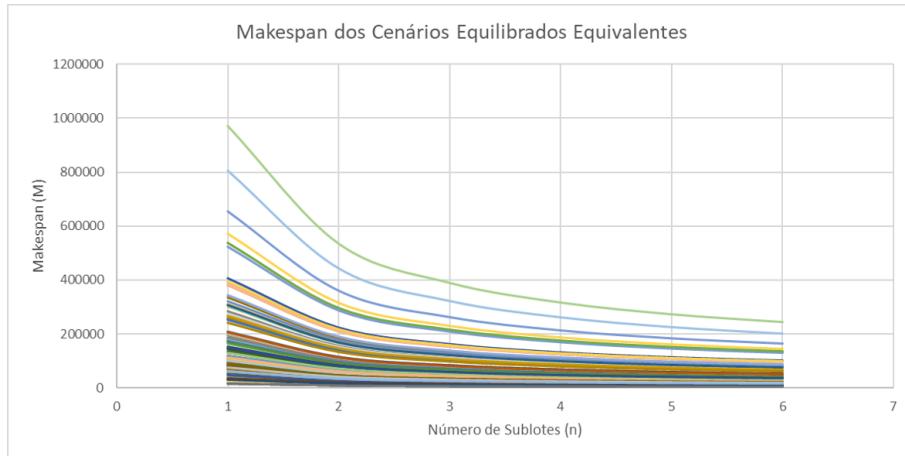


Figura 22: Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 10 máquinas e variação de até 70%

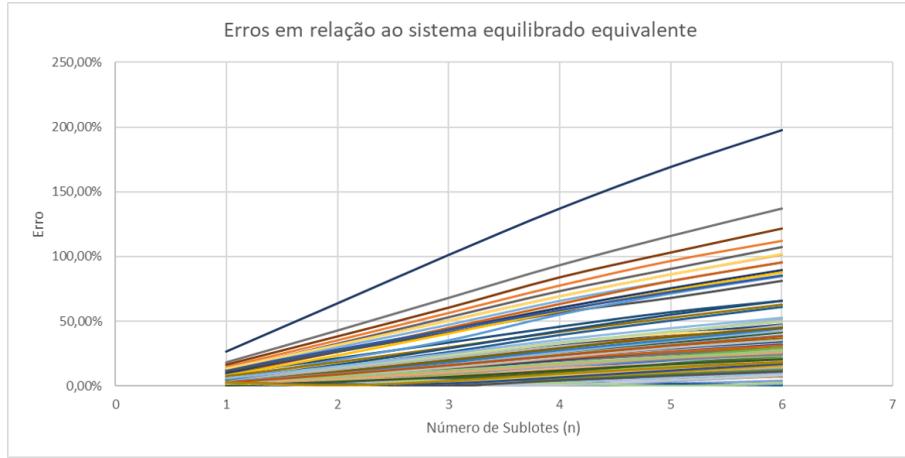


Figura 23: Erros dos cenários com 10 máquinas e variação de até 70%

De maneira semelhante, o conjunto de cenários com 15 máquinas e 20% de variação é representado pelas Figuras 24, 25 e 26, sendo a primeira o *Makespan* dos cenários gerados aleatoriamente, em seguida dos resultados dos cenários equilibrados equivalente e por último os erros entre os resultados dos citados dois primeiros. Ainda, encontram-se no Apêndice P os gráficos com as comparações mais detalhadas representados pelas Figuras 93 a 102.

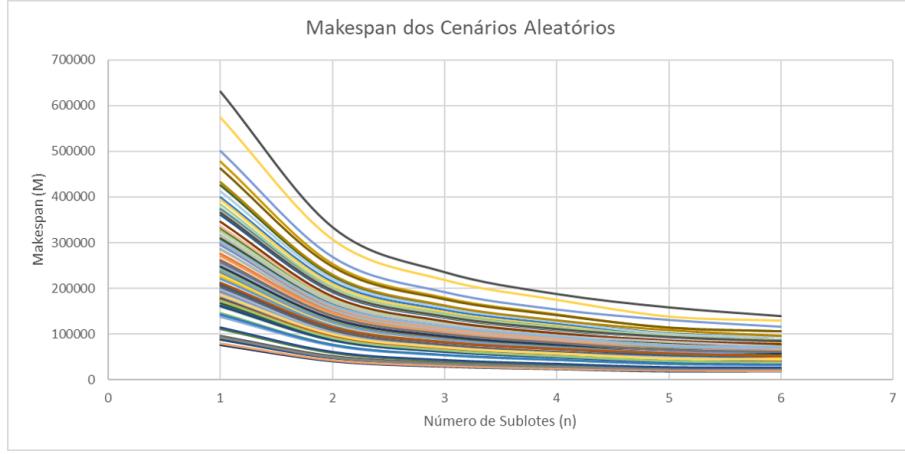


Figura 24: Makespan dos cenários com 15 máquinas e variação de até 20%

O penúltimo conjunto simulado foi com cenários de 15 máquinas com variação de até 50% entre máquinas consecutivas. Seguindo a mesma organização apresentada anteriormente estão dispostos o *Makespan* dos cenários aleatórios desequilibrados (Figura 27), o *Makespan* dos cenários equilibrados (Figura 30), e os erros calculados a partir da comparação dos cenários (Figura 29). No Apêndice Q estão também as comparações dos cenário de 10 em 10 (Figuras 103 a 112).

Por fim, o conjunto de cenários com 15 máquinas e 70% de variação. Conforme vem sendo feito, estão apresentados em ordem: o *Makespan* dos cenários aleatórios (Fi-

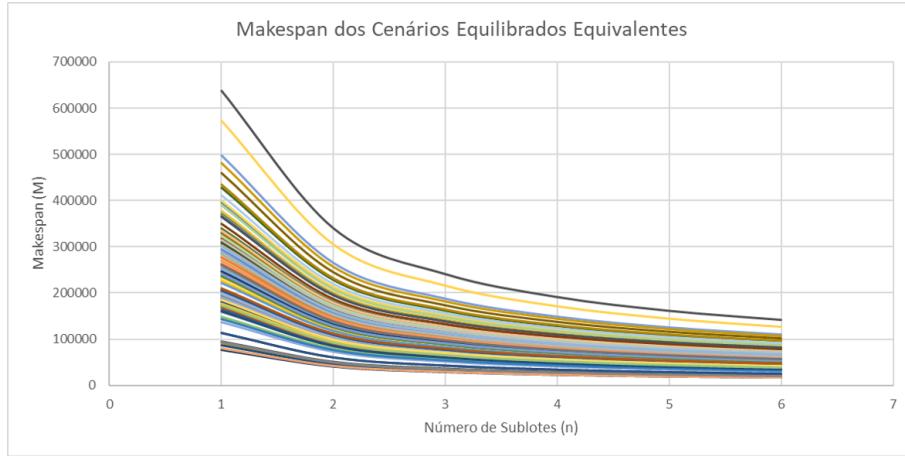


Figura 25: Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 15 máquinas e variação de até 20%

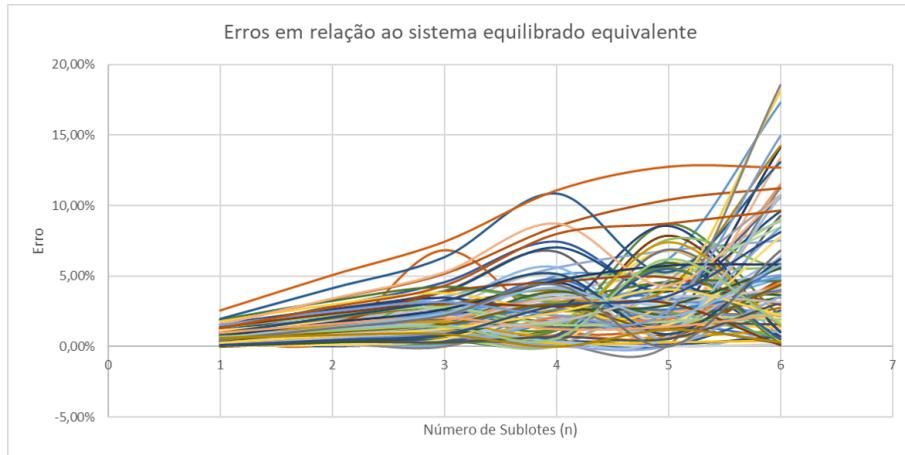


Figura 26: Erros dos cenários com 15 máquinas e variação de até 20%

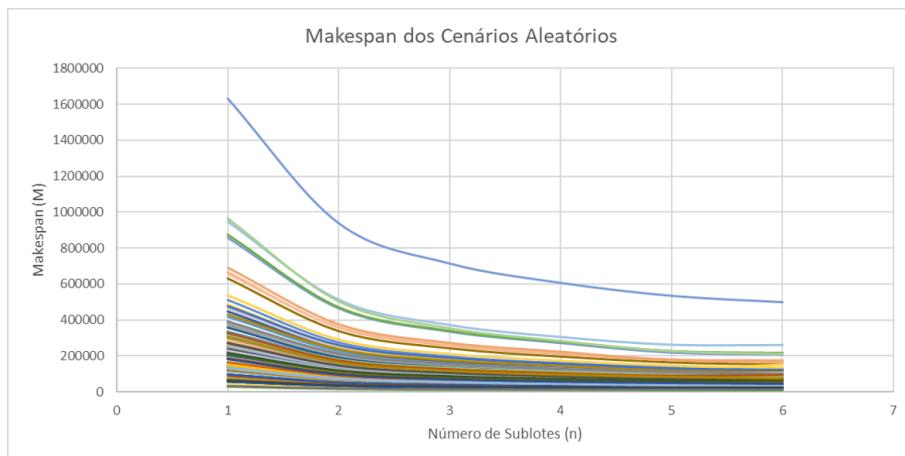


Figura 27: Makespan dos cenários com 15 máquinas e variação de até 50%

gura 30); o *Makespan* dos cenários equilibrados equivalentes (Figura 31; e os erros dos cenários analisados (Figura 32). No Apêndice R estão os cenários comparados com seus equivalentes, de maneira a melhor visualização de cada um, vide Figuras 113 a 122.

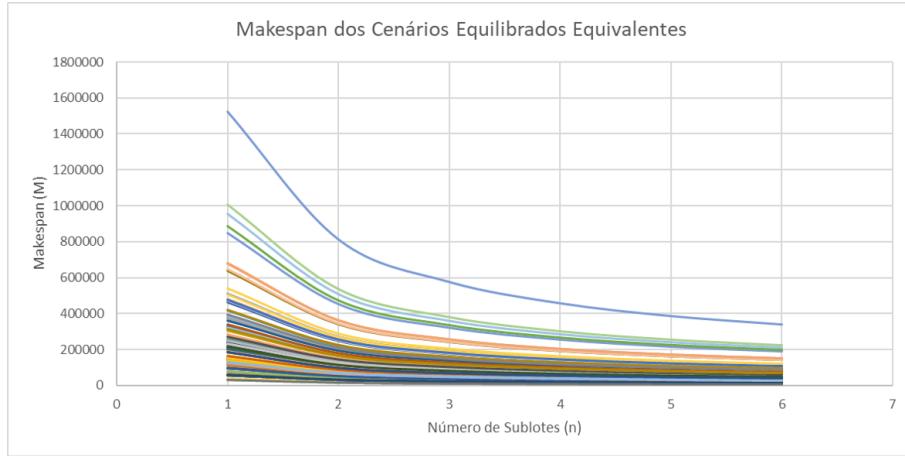


Figura 28: Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 15 máquinas e variação de até 50%

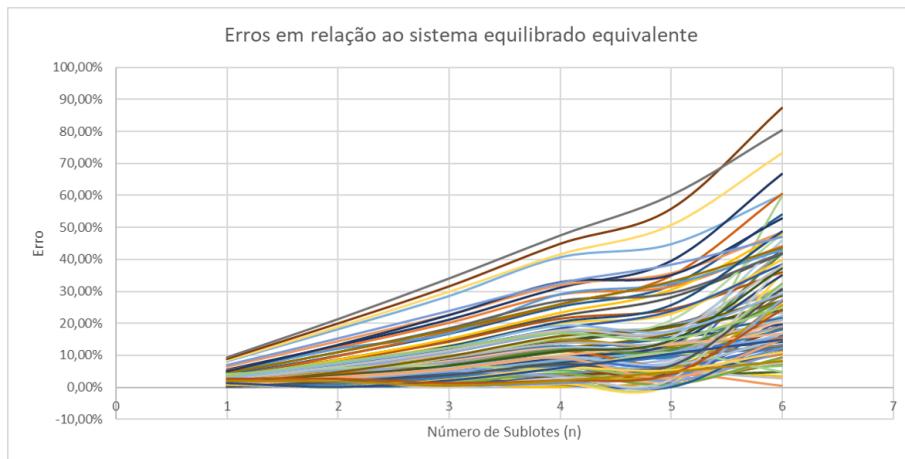


Figura 29: Erros dos cenários com 15 máquinas e variação de até 50%

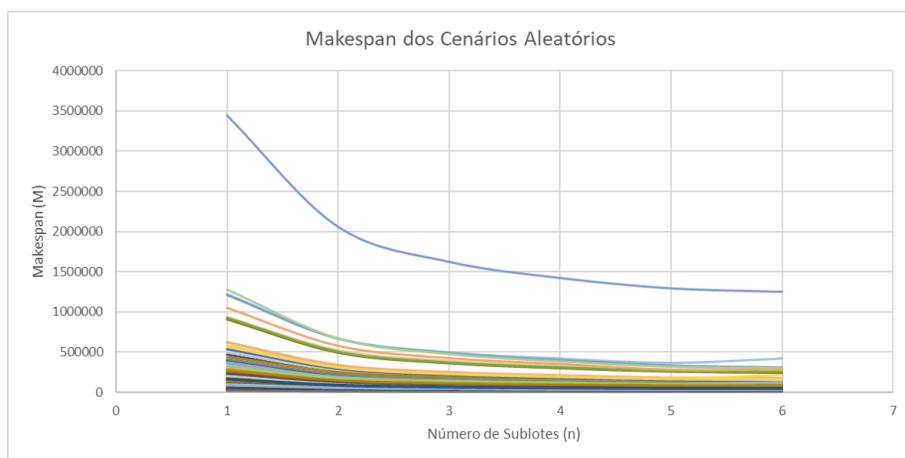


Figura 30: Makespan dos cenários com 15 máquinas e variação de até 70%

### 3.1.4 Análise dos resultados

A partir dos resultados gerados pode-se portanto realizar algumas análises dos dados, principalmente pelos gráficos gerados.

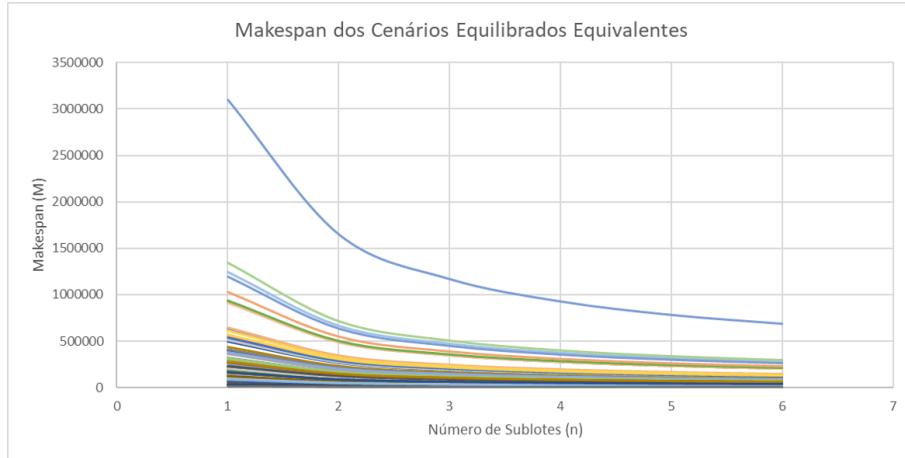


Figura 31: Makespan dos cenários equilibrados equivalentes com 15 máquinas e variação de até 70%

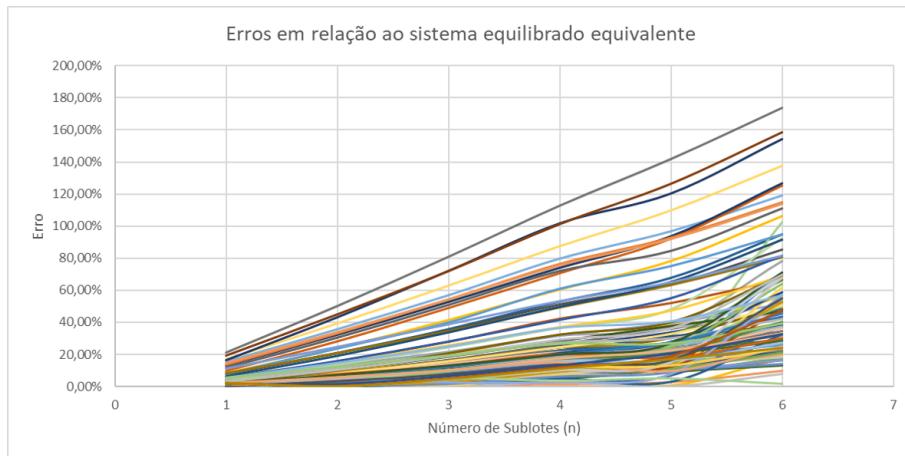


Figura 32: Erros dos cenários com 15 máquinas e variação de até 70%

Notou-se que em todos os cenários calculados, tanto os desbalanceados quanto os equilibrados que ele se comportam como uma assíntota decrescente, mostrando que o modelo está de acordo com a teoria das técnicas de *Lot Streaming* já previa que isso ocorresse, corroborando portanto para a confiabilidade do modelo aplicado.

Ainda, é fato conhecido na Engenharia de Produção de que sistemas desequilibrados geralmente são mais ineficientes quando comparados à sistemas equilibrados. Nos resultados alcançados é possível ver claramente que os erros tendem a aumentar substancialmente conforme a variação dos tempos das máquinas aumenta.

Na Tabela 1 foram apresentados os erros que tiveram mais frequência de cenários, bem como o erro máximo. No primeiro grupo de cenários (5 máquinas e variação de 20%) a maior parte dos erros se mantiveram em até 6%, com erro máximo de 13%. Para variação de 50%, os erros foram de até 30% e erro máximo de 65%. E com 5 máquinas e 70% de variação, o maior parte dos erros foram de até 40% e máximo de 135%. Para o

primeiro grupo de 10 máquinas, ou seja, com 20% de variação nos tempos de máquinas, os erros mais frequentes também foram de até 6% e máximo de 14%. Já para 50% de variação, o erro foi de até 30% e máximo de 80%. E para os cenários mais desequilibrados (com 70% de variação), os erros se deram majoritariamente em até 50% e com máximo que alcançou 200%. Para o grupo com 15 máquinas, começando com variação de até 20%, grande parte dos erros se mantiveram em até 8% e apresentando um erro máximo de cerca de 18%. Para variação de até 50%, os erros foram sumariamente cerca de 50% com máximo alcançado de 87%. Por fim, nos cenários com 15 máquinas e variação de até 70%, os erros se mantiveram majoritariamente em até 70%, onde apresentou erro máximo de 175%.

Tabela 1: Resumo das análises dos erros gerados

Número de máquinas	% de variação dos tempos de processamento	Erro com maior frequência (%)	Erro máximo (%)
5	20	6	13
	50	30	65
	70	40	135
10	20	6	14
	50	30	80
	70	50	200
15	20	8	18
	50	50	87
	70	70	175

Sistemas com variação de até 20% em sua grande maioria apresentaram um erro de não mais que 8%, ainda assim nos casos mais extremos o erro não ultrapassou 18%. Nos cenários com a maior variação (de até 70%), pode-se perceber o quanto os sistemas se distanciam do ideal, uma vez que no problema de 5 máquinas os erros se concentraram em até aproximadamente 40%, no problema de 10 máquinas os erros foram em torno de 50% apresentando também um cenário ao qual o máximo alcançou de 200%, e para o problema de 15 máquinas a maior parte se manteve em até 70%.

Quanto mais se aumenta o número de máquinas, mais complexo o problema se torna, acrescentando a questão da aleatoriedade imposta na variação, percebe-se que os erros podem aumentar ainda mais. Mesmos nos casos com pouca variação, apenas com aumento no número de máquinas, os erros tenderam a crescer. Entretanto, os erros se mantiveram sempre em uma faixa de até 8%, o que, dependendo do caso, pode não ser uma perda tão significativa na produção.

## 4 Conclusões

As técnicas de *Lot Streaming* são uma excelente ferramenta tanto para programar a produção em lotes, quanto para estimar a capacidade produtiva daquele sistema. Contudo, a aplicação em sistemas de produção com  $m$  máquinas é extremamente complexa, ainda mais se tratando de sistemas desbalanceados. Geralmente empresas de manufatura buscam trabalhar com sistemas mais próximos possíveis do equilíbrio. Portanto em um caso prático real, existe a necessidade do gestor possuir de um conhecimento técnico específico para programar a produção de maneira ótima.

Entretanto, como o trabalho apresentou, existe uma alternativa viável extremamente mais barata e mais fácil de ser aplicada. Foi observado que nos sistemas pouco desequilibrados a diferença para o ideal é de até 8%, o que dependendo do caso pode ser uma diferença ínfima, onde trabalhando com o modelo mais simples não se obtém o ótimo, mas um resultado consideravelmente bom.

O trabalho apresentado sugere uma teoria empírica para o problema geral de *makespan* com  $m$  máquinas e  $n$  sublotes com tempos  $p_i$  de processamento na máquina  $i$  com margem de erro conhecida, usando a teoria disponível para duas e três máquinas,  $n$  sublotes, e  $p_i$  tempos de processamento de cada máquina  $i$ . Essa contribuição tem grande relevância prática porque não existe uma solução analítica geral para esse problema de grande interesse dos sistemas de manufatura.

A teoria empírica apresentada por este trabalho faz com que o gestor ou responsável pela produção possa optar por operar o sistema produtivo como um sistema equilibrado e ainda sim obter resultados satisfatórios. É importante ressaltar novamente a facilidade e o custo computacional baixíssimo para operar desta forma, uma vez que não necessita de um conhecimento técnico específico ou dominar completamente as técnicas de *Lot Streaming* para tal.

A proposta apresentada pelo trabalho é muito válida pois a maioria das empresas de manufatura buscam balanceamento na linha de produção para garantir o fluxo contínuo. O gestor ao se utilizar da teoria apresentada estima a capacidade do seu sistema de maneira satisfatória, e ainda pode ter uma perspectiva de melhoria na configuração de sua linha produtiva.

O trabalho além de mostrar a importância e vantagens de se trabalhar com linhas de produção balanceadas por causa do seu desempenho, também mostra o quão ineficientes podem ser linhas de produção extremamente desbalanceadas.

Ademais, o modelo apresentado no trabalho foi validado por conta das premissas

cumpridas por ele, como a questão de sistemas equilibrados serem geralmente mais eficientes que sistemas desequilibrados, e de que no *Lot Streaming* o tempo de completude do processo diminui conforme aumentasse o número de sublotes formando uma assintótica decrescente.

#### 4.1 Limitações da pesquisa e propostas futuras

O autor deste trabalho não teve a oportunidade de realizar uma aplicação prática com dados reais. Apesar da pesquisa ter feito centenas de simulações de cenários aleatórios, seria interessante coletar dados reais de um sistema real em funcionamento, aplicar a teoria apresentada e comparar os resultados para validar se a teoria é realmente compatível com a realidade.

Outro ponto foi que a pesquisa não considerou as técnicas de *Lot Streaming* com os tempos de transporte entre máquinas. Uma proposta seria adicionar transportadores entre os pares de máquinas e comparar o quanto o desempenho é afetado com isso.

Por fim, uma terceira proposta seria a de comparar diferentes técnicas de programação e mensuração de tamanho de lotes (*Lot Sizing*) com as técnicas de *Lot Streaming*, a fim de avaliar qual técnica é mais adequada para determinada situação e/ou quanto o *Lot Streaming* pode melhorar, etc.

## Referências

- BAI, J.-J. et al. An improved PSO algorithm for flexible job shop scheduling with lot-splitting. In: **2009 International Workshop on Intelligent Systems and Applications, ISA 2009**. [S.l.: s.n.], 2009.
- BAKER, K.; JIA, D. A comparative study of lot streaming procedures. **Omega**, v. 21, n. 5, p. 561–566, 9 1993. ISSN 03050483. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/030504839390024F>>.
- BAKER, K.; PYKE, D. Solution Procedures for the Lot-Streaming Problem. **Decision Sciences**, v. 21, n. 3, p. 475–491, 1990.
- BAKER, K. R. Lot streaming in the two-machine flow shop with setup times. **Annals of Operations Research**, v. 57, n. 1, p. 1–11, 12 1995. ISSN 0254-5330. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02099687>>.
- BISKUP, D.; FELDMANN, M. Lot streaming with variable sublots: an integer programming formulation. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, n. 3, p. 296–303, 3 2006. ISSN 0160-5682. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1057/palgrave.jors.2602016>>.
- BOŽEK, A.; WERNER, F. Flexible job shop scheduling with lot streaming and subplot size optimisation. **International Journal of Production Research**, p. 1–21, 7 2017. ISSN 0020-7543. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2017.1346322>>.
- BOZEK, A.; WYSOCKI, M. Off-line and dynamic production scheduling - A comparative case study. **Management and Production Engineering Review**, v. 7, n. 1, p. 21–32, 2016.
- CALLEJA, G.; PASTOR, R. A dispatching algorithm for flexible job-shop scheduling with transfer batches: An industrial application. **Production Planning and Control**, v. 25, n. 2, p. 93–109, 2014.
- CHAN, F. T. S.; WONG, T. C.; CHAN, L. Y. Lot streaming for product assembly in job shop environment. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 24, n. 3, p. 321–331, 2008.
- CHAN, F. T. S.; WONG, T. C.; CHAN, P. L. Y. Equal size lot streaming to job-shop scheduling problem using genetic algorithms. In: **IEEE International Symposium on Intelligent Control - Proceedings**. [S.l.: s.n.], 2004. p. 472–476.
- CHENG, M.; MUKHERJEE, N. J.; SARIN, S. C. A review of lot streaming. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 23-24, p. 7023–7046, 2013.
- CONTE, V. C. B. C. **Um modelo de regressão dinâmica para a função clearing function que estima a taxa de produção em modelos de planejamento de produção baseados em programação matemática**. 122 p. Tese (Doutorado) — Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2016.

- DEFERSHA, F. M.; CHEN, M. A hybrid genetic algorithm for flowshop lot streaming with setups and variable sublots. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 6, p. 1705–1726, 3 2010. ISSN 0020-7543. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540802660544>>.
- DEFERSHA, F. M.; CHEN, M. Jobshop lot streaming with routing flexibility, sequence-dependent setups, machine release dates and lag time. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 8, p. 2331–2352, 2012.
- DEFERSHA, F. M.; CHEN, M. Mathematical model and parallel genetic algorithm for hybrid flexible flowshop lot streaming problem. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 62, n. 1-4, p. 249–265, 9 2012. ISSN 0268-3768. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00170-011-3798-0>>.
- DEMIR, Y.; İŞLEYEN, S. K. An effective genetic algorithm for flexible job-shop scheduling with overlapping in operations. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 13, p. 3905–3921, 2014.
- EDIS, R. S.; ORNEK, A. Simulation analysis of lot streaming in job shops with transportation queue disciplines. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 17, n. 2, p. 442–453, 2009.
- EDIS, R. S.; ORNEK, M. A. A tabu search-based heuristic for single-product lot streaming problems in flow shops. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 43, n. 11-12, p. 1202–1213, 8 2009. ISSN 0268-3768. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00170-008-1798-5>>.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Rio de Janeiro: Atlas, 2017. ISBN 9788597012934. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000011660&lang=pt-br&site=eds-live&authtype=ip,cookie,uid>>.
- HOPP, W.; SPEARMAN, M. **Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management**. [S.l.]: Irwin/McGraw-Hill, 2001. ISBN 0-256-24795-1.
- JACOBS, F. R. et al. **Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management**. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2011. ISBN 9780071750325.
- KALIR, A. A.; SARIN, S. C. Evaluation of the potential benefits of lot streaming in flow-shop systems. **International Journal of Production Economics**, v. 66, n. 2, p. 131–142, 6 2000. ISSN 09255273. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527399001152>>.
- LEI, D.; GUO, X. Scheduling job shop with lot streaming and transportation through a modified artificial bee colony. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 16, p. 4930–4941, 2013.
- LI, Z.; IERAPETRITOU, M. G. Production planning and scheduling integration through augmented Lagrangian optimization. **Computers & Chemical Engineering**, v. 34, n. 6, p. 996–1006, 6 2010. ISSN 00981354. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098135409003019>>.

- LIU, S. C. A heuristic method for discrete lot streaming with variable sublots in a flow shop. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 22, n. 9-10, p. 662–668, 11 2003. ISSN 0268-3768. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00170-002-1516-7>>.
- LOW, C.; HSU, C.-M.; HUANG, K.-I. Benefits of lot splitting in job-shop scheduling. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 24, n. 9-10, p. 773–780, 2004.
- MORTEZAEI, N.; ZULKIFLI, N. Integration of Lot Sizing and Flow Shop Scheduling with Lot Streaming. **Journal of Applied Mathematics**, v. 2013, p. 1–9, 2013. ISSN 1110-757X. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/jam/2013/216595/>>.
- MORTEZAEI, N.; ZULKIFLI, N. A Study on Integration of Lot Sizing and Flow Shop Lot Streaming Problems. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 39, n. 12, p. 9283–9300, 12 2014. ISSN 1319-8025. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s13369-014-1416-9>>.
- MUKHERJEE, N. J.; SARIN, S. C.; SINGH, S. Lot streaming in the presence of learning in subplot-attached setup times and processing times. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 6, p. 1623–1639, 3 2017. ISSN 0020-7543. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2016.1200760>>.
- PAN, Q.-K.; RUIZ, R. An estimation of distribution algorithm for lot-streaming flow shop problems with setup times. **Omega**, v. 40, n. 2, p. 166–180, 2012.
- PESSOA, L. S.; ANDRADE, C. E. Heuristics for a flowshop scheduling problem with stepwise job objective function. **European Journal of Operational Research**, v. 266, n. 3, p. 950–962, 5 2018. ISSN 03772217. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037722171730958X>>.
- PETROVIC, S. et al. Fuzzy job shop scheduling with lot-sizing. **Annals of Operations Research**, v. 159, n. 1, p. 275–292, 2008.
- PINEDO, M. L. **Planning and scheduling in manufacturing and services**. [S.l.: s.n.], 2009. 1–536 p. ISSN 1098-6596. ISBN 9781441909091.
- POTTS, C.; BAKER, K. Flow shop scheduling with lot streaming. **Operations Research Letters**, v. 8, n. 6, p. 297–303, 12 1989. ISSN 01676377. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0167637789900138>>.
- ROHANINEJAD, M.; KHEIRKHAH, A.; FATTAHI, P. Simultaneous lot-sizing and scheduling in flexible job shop problems. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 78, n. 1-4, 2015.
- SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. [S.l.]: Pearson, 2013. (Always learning). ISBN 9780273776208.
- STADTLER, H. Production Planning and Scheduling. In: . [s.n.], 2015. p. 195–211. Disponível em: <[http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-55309-7\\_10](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-55309-7_10)>.

SYAHPUTRI, K. et al. Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach. **MATEC Web of Conferences**, v. 197, p. 14010, 9 2018. ISSN 2261-236X. Disponível em: <<https://www.matec-conferences.org/10.1051/matecconf/201819714010>>.

TRIETSCH, D.; BAKER, K. R. Basic Techniques for Lot Streaming. **Operations Research**, v. 41, n. 6, p. 1065–1076, 12 1993. ISSN 0030-364X. Disponível em: <<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.41.6.1065>>.

TSENG, C.-T.; LIAO, C.-J. A discrete particle swarm optimization for lot-streaming flowshop scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 191, n. 2, p. 360–373, 12 2008. ISSN 03772217. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221707009046>>.

VARELA, M. L. et al. Comparative Simulation Study of Production Scheduling in the Hybrid and the Parallel Flow. **Management and Production Engineering Review**, v. 8, n. 2, p. 69–80, 6 2017. ISSN 2082-1344. Disponível em: <<http://content.sciendo.com/view/journals/mper/8/2/article-p69.xml>>.

VENTURA, J. A.; YOON, S.-H. A new genetic algorithm for lot-streaming flow shop scheduling with limited capacity buffers. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 24, n. 6, p. 1185–1196, 12 2013. ISSN 0956-5515. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10845-012-0650-9>>.

## A Apêndice - Cenários com 5 máquinas e variação de até 20%

#	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_{eq}$	$U$
1	9,056	8,053	7,563	8,737	9,993	8,469	2000
2	8,447	8,568	6,882	7,393	8,835	7,871	2000
3	4,886	5,204	4,999	5,258	5,940	5,218	2000
4	7,202	8,205	8,495	9,347	8,564	8,483	2000
5	9,884	8,497	9,775	11,409	9,456	9,838	2000
6	10,169	10,861	11,767	11,108	11,370	11,126	2000
7	5,376	5,939	5,211	5,854	5,110	5,562	2000
8	7,909	9,486	9,037	8,000	6,670	8,453	2000
9	4,120	3,730	3,272	2,801	2,519	3,281	2000
10	8,231	9,499	10,703	9,840	11,440	9,969	2000
11	12,305	13,355	10,738	11,554	13,200	12,100	2000
12	11,267	12,036	11,379	12,223	13,602	12,018	2000
13	8,285	9,099	9,931	11,336	10,177	9,899	2000
14	11,962	11,548	11,081	11,482	10,627	11,351	2000
15	11,224	9,198	10,577	8,890	7,569	9,515	2000
16	9,268	10,249	8,756	7,092	8,312	8,722	2000
17	6,135	6,989	5,913	5,731	4,898	6,037	2000
18	8,415	8,523	7,489	6,425	6,645	7,492	2000
19	11,777	13,522	11,126	9,335	8,049	10,974	2000
20	10,449	8,876	9,186	9,049	9,573	9,280	2000
21	7,211	6,058	6,647	6,797	7,230	6,681	2000
22	2,444	2,627	2,714	2,842	3,389	2,775	2000
23	6,975	8,009	7,341	8,505	9,130	7,977	2000
24	2,643	2,929	3,512	4,031	4,835	3,553	2000
25	5,204	4,832	5,216	4,868	3,914	4,869	2000
26	7,879	7,026	6,348	7,513	7,825	7,185	2000
27	6,937	6,593	5,913	4,811	4,823	5,799	2000
28	6,384	7,160	6,819	8,182	8,535	7,405	2000
29	8,695	9,816	9,150	9,654	10,954	9,611	2000
30	8,239	7,871	9,333	9,939	11,926	9,306	2000
31	3,439	3,481	3,132	2,617	2,921	3,103	2000
32	8,766	8,611	8,889	7,427	8,793	8,427	2000

33	11,906	13,577	15,376	16,978	17,301	15,134	2000
34	9,555	8,475	7,472	6,517	7,262	7,718	2000
35	4,860	5,387	4,463	4,178	3,355	4,534	2000
36	4,693	4,272	4,701	3,857	4,241	4,324	2000
37	10,086	11,681	12,022	11,194	11,249	11,391	2000
38	3,723	3,758	4,122	3,793	3,045	3,764	2000
39	8,026	9,083	7,541	6,482	6,141	7,547	2000
40	7,045	7,708	9,013	10,409	12,471	9,222	2000
41	12,260	11,353	9,662	9,163	8,782	10,175	2000
42	6,712	6,842	7,570	9,072	7,949	7,704	2000
43	6,514	6,723	6,291	6,011	5,677	6,280	2000
44	11,503	9,451	8,010	6,836	6,667	8,345	2000
45	6,097	6,066	6,205	6,620	6,131	6,251	2000
46	8,914	9,661	8,260	8,568	6,862	8,594	2000
47	9,698	8,208	9,376	8,923	9,238	8,994	2000
48	8,096	9,378	10,674	12,444	13,573	10,833	2000
49	6,967	7,618	6,960	6,897	8,256	7,272	2000
50	10,966	11,992	13,479	11,938	11,482	12,158	2000
51	7,798	6,800	7,886	8,733	10,245	8,110	2000
52	7,996	9,196	10,950	12,822	12,900	10,854	2000
53	13,104	13,619	14,111	14,330	12,820	13,755	2000
54	15,413	13,673	14,499	11,803	10,406	13,221	2000
55	10,517	9,019	8,582	10,122	9,394	9,420	2000
56	11,359	12,799	12,684	11,975	11,067	12,168	2000
57	6,293	5,935	6,722	7,293	8,012	6,776	2000
58	10,599	10,348	11,633	10,583	11,625	10,919	2000
59	7,062	5,971	6,469	7,525	8,998	6,999	2000
60	9,873	11,183	12,203	9,837	10,699	10,877	2000
61	5,287	6,183	6,591	6,301	6,625	6,258	2000
62	7,631	7,012	6,423	5,742	5,478	6,433	2000
63	6,509	7,125	7,809	6,568	6,635	7,019	2000
64	10,020	9,675	8,814	8,343	7,136	8,853	2000
65	12,199	9,871	8,240	7,916	6,736	8,874	2000
66	12,648	12,094	12,755	11,896	11,299	12,180	2000
67	11,207	10,076	9,759	9,787	11,279	10,216	2000
68	7,556	7,456	7,043	8,424	6,816	7,527	2000
69	10,688	9,930	10,852	11,490	11,566	10,850	2000

70	5,261	6,057	7,165	7,412	7,965	6,812	2000
71	10,143	8,775	10,462	11,663	9,855	10,225	2000
72	4,709	5,642	5,344	6,136	6,309	5,658	2000
73	5,855	6,300	5,998	5,279	5,341	5,794	2000
74	8,344	7,435	6,198	5,932	5,364	6,605	2000
75	4,530	5,012	5,234	4,216	4,045	4,687	2000
76	12,518	14,976	14,847	16,006	17,469	15,206	2000
77	4,561	5,013	5,525	4,707	4,905	4,995	2000
78	7,709	8,417	7,794	7,347	7,058	7,735	2000
79	5,845	6,617	6,666	5,573	6,503	6,258	2000
80	13,568	10,995	9,121	7,432	8,905	9,696	2000
81	10,778	8,825	8,984	10,586	10,910	9,810	2000
82	8,332	9,984	9,577	8,168	7,028	8,852	2000
83	11,139	9,419	10,701	11,864	12,923	11,004	2000
84	11,150	13,063	14,755	13,209	12,513	13,215	2000
85	10,321	8,359	7,516	8,435	7,434	8,297	2000
86	9,476	11,263	10,887	12,718	12,559	11,471	2000
87	10,979	12,864	10,810	11,474	12,175	11,681	2000
88	15,662	16,010	16,161	17,126	20,265	16,815	2000
89	5,448	5,764	4,775	5,147	5,455	5,284	2000
90	8,778	10,100	8,937	8,160	9,517	9,086	2000
91	7,751	8,857	8,421	8,257	9,424	8,531	2000
92	8,426	10,004	10,695	9,627	10,883	9,995	2000
93	9,209	9,954	8,139	8,259	9,502	8,927	2000
94	12,466	14,928	16,013	14,450	13,142	14,549	2000
95	10,785	10,960	9,156	8,644	7,435	9,467	2000
96	4,741	4,644	5,078	5,020	5,745	4,996	2000
97	4,180	4,865	4,155	3,922	3,764	4,229	2000
98	11,679	9,783	10,240	9,469	7,756	9,802	2000
99	9,445	9,576	8,181	9,320	10,806	9,301	2000
100	12,681	10,966	12,760	12,155	12,826	12,159	2000

## B Apêndice - Cenários com 5 máquinas e variação de até 50%

#	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_{eq}$	$U$
1	9,056	6,548	5,552	7,706	10,476	7,393	2000
2	8,447	8,750	4,445	5,270	7,840	6,652	2000
3	4,886	5,680	5,120	5,784	7,660	5,714	2000
4	7,202	9,709	10,567	13,217	10,450	10,580	2000
5	9,884	6,417	8,830	12,519	7,161	9,072	2000
6	10,169	11,899	14,380	12,368	13,096	12,570	2000
7	5,376	6,783	4,705	6,156	4,201	5,608	2000
8	7,909	11,853	10,452	7,454	4,357	8,973	2000
9	4,120	3,145	2,180	1,395	1,044	2,325	2000
10	8,231	11,401	15,015	11,990	16,864	12,738	2000
11	12,305	14,930	7,616	9,063	12,291	10,977	2000
12	11,267	13,189	11,390	13,502	17,311	13,093	2000
13	8,285	10,321	12,681	17,167	12,778	12,675	2000
14	11,962	10,927	9,823	10,713	8,719	10,451	2000
15	11,224	6,158	8,467	5,091	3,200	6,732	2000
16	9,268	11,721	7,451	3,912	5,594	7,629	2000
17	6,135	8,270	5,087	4,696	2,991	5,654	2000
18	8,415	8,686	6,052	3,901	4,234	6,241	2000
19	11,777	16,138	8,990	5,373	3,522	9,538	2000
20	10,449	6,517	7,087	6,822	7,810	7,389	2000
21	7,211	4,328	5,380	5,684	6,589	5,573	2000
22	2,444	2,901	3,142	3,513	5,203	3,345	2000
23	6,975	9,559	7,565	10,564	12,503	9,357	2000
24	2,643	3,358	5,030	6,890	10,326	5,441	2000
25	5,204	4,274	5,124	4,269	2,177	4,339	2000
26	7,879	5,747	4,361	6,363	7,023	5,980	2000
27	6,937	6,077	4,510	2,409	2,425	4,419	2000
28	6,384	8,323	7,331	10,995	12,181	8,983	2000
29	8,695	11,498	9,548	10,864	14,520	10,879	2000
30	8,239	7,319	10,717	12,455	18,681	10,988	2000
31	3,439	3,545	2,656	1,564	2,018	2,623	2000
32	8,766	8,379	9,055	5,333	7,785	7,761	2000

33	11,906	16,083	21,411	26,987	28,272	21,142	2000
34	9,555	6,856	4,827	3,284	4,222	5,464	2000
35	4,860	6,177	3,527	2,965	1,504	3,963	2000
36	4,693	3,640	4,554	2,509	3,133	3,654	2000
37	10,086	14,074	15,100	12,500	12,655	13,261	2000
38	3,723	3,811	4,733	3,788	1,920	3,788	2000
39	8,026	10,668	6,141	3,985	3,461	6,634	2000
40	7,045	8,704	12,389	17,186	25,696	13,662	2000
41	12,260	9,993	6,272	5,463	4,895	7,576	2000
42	6,712	7,036	8,909	13,328	9,203	9,308	2000
43	6,514	7,038	5,906	5,248	4,518	5,927	2000
44	11,503	6,373	3,944	2,499	2,344	4,935	2000
45	6,097	6,020	6,364	7,429	6,056	6,472	2000
46	8,914	10,781	6,871	7,512	3,772	7,877	2000
47	9,698	5,973	8,099	7,121	7,749	7,479	2000
48	8,096	11,300	15,205	21,507	26,386	16,313	2000
49	6,967	8,594	6,738	6,586	9,829	7,579	2000
50	10,966	13,532	17,728	12,660	11,452	13,782	2000
51	7,798	5,304	7,422	9,414	13,488	8,196	2000
52	7,996	10,995	16,239	23,179	23,533	16,544	2000
53	13,104	14,391	15,690	16,298	12,005	14,733	2000
54	15,413	11,062	12,734	6,815	4,799	10,179	2000
55	10,517	6,773	5,952	8,622	7,072	7,535	2000
56	11,359	14,958	14,622	12,579	10,195	13,234	2000
57	6,293	5,399	7,188	8,715	10,862	7,470	2000
58	10,599	9,971	13,068	10,119	12,609	11,190	2000
59	7,062	4,334	5,237	7,375	10,983	6,492	2000
60	9,873	13,148	16,147	8,319	10,141	11,905	2000
61	5,287	7,526	8,766	7,803	8,805	7,785	2000
62	7,631	6,083	4,807	3,532	3,127	4,950	2000
63	6,509	8,050	9,982	6,015	6,168	7,596	2000
64	10,020	9,158	7,121	6,169	3,938	7,357	2000
65	12,199	6,379	3,744	3,376	2,118	5,164	2000
66	12,648	11,262	12,800	10,646	9,311	11,422	2000
67	11,207	8,379	7,720	7,775	10,738	8,712	2000
68	7,556	7,306	6,294	9,380	4,903	7,302	2000
69	10,688	8,793	10,834	12,426	12,631	10,928	2000

70	5,261	7,251	10,566	11,477	13,619	9,684	2000
71	10,143	6,723	9,955	12,812	7,847	9,621	2000
72	4,709	7,042	6,113	8,379	8,969	7,093	2000
73	5,855	6,966	6,131	4,293	4,418	5,632	2000
74	8,344	6,071	3,546	3,166	2,408	4,540	2000
75	4,530	5,735	6,370	3,272	2,940	4,778	2000
76	12,518	18,664	18,262	21,826	26,812	19,604	2000
77	4,561	5,691	7,144	4,498	4,971	5,525	2000
78	7,709	9,478	7,723	6,615	5,965	7,663	2000
79	5,845	7,775	7,919	4,671	6,621	6,649	2000
80	13,568	7,137	4,096	2,200	3,290	5,465	2000
81	10,778	5,895	6,160	8,906	9,588	7,786	2000
82	8,332	12,461	11,191	7,074	4,605	9,299	2000
83	11,139	6,840	9,167	11,658	14,260	10,091	2000
84	11,150	15,932	21,091	15,565	13,515	16,230	2000
85	10,321	5,417	4,051	5,289	3,720	5,444	2000
86	9,476	13,944	12,780	18,154	17,585	14,602	2000
87	10,979	15,693	9,428	10,876	12,537	11,939	2000
88	15,662	16,531	16,921	19,448	28,360	18,728	2000
89	5,448	6,239	3,562	4,255	4,893	4,807	2000
90	8,778	12,083	8,606	6,735	9,535	9,145	2000
91	7,751	10,516	9,222	8,772	11,872	9,580	2000
92	8,426	12,371	14,508	10,886	14,438	12,299	2000
93	9,209	11,071	6,025	6,247	8,597	8,061	2000
94	12,466	18,622	22,006	16,637	12,872	17,483	2000
95	10,785	11,223	6,604	5,681	3,695	7,687	2000
96	4,741	4,498	5,549	5,391	7,337	5,369	2000
97	4,180	5,892	3,743	3,217	2,894	4,097	2000
98	11,679	6,940	7,751	6,292	3,447	7,136	2000
99	9,445	9,773	6,213	8,376	11,715	8,736	2000
100	12,681	8,393	11,825	10,422	11,861	10,728	2000

## C Apêndice - Cenários com 5 máquinas e variação de até 70%

#	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_{eq}$	$U$
1	9,056	5,545	4,364	6,734	10,123	6,558	2000
2	8,447	8,871	2,761	3,478	5,852	5,565	2000
3	4,886	5,998	5,170	6,108	8,881	6,040	2000
4	7,202	10,712	12,037	16,264	11,497	12,091	2000
5	9,884	5,030	7,678	12,169	4,878	8,065	2000
6	10,169	12,591	16,267	13,080	14,158	13,525	2000
7	5,376	7,345	4,194	6,005	3,335	5,475	2000
8	7,909	13,430	11,207	6,707	2,806	9,175	2000
9	4,120	2,755	1,571	0,779	0,504	1,854	2000
10	8,231	12,670	18,293	13,133	20,608	14,629	2000
11	12,305	15,980	5,021	6,357	9,527	9,569	2000
12	11,267	13,958	11,293	14,225	19,843	13,758	2000
13	8,285	11,135	14,700	21,980	14,113	14,753	2000
14	11,962	10,513	9,026	10,170	7,520	9,862	2000
15	11,224	4,132	6,301	2,783	1,335	4,874	2000
16	9,268	12,702	6,224	2,085	3,340	6,829	2000
17	6,135	9,125	4,209	3,757	1,847	5,271	2000
18	8,415	8,794	5,060	2,543	2,847	5,507	2000
19	11,777	17,883	6,793	2,967	1,536	8,575	2000
20	10,449	4,944	5,549	5,259	6,325	6,035	2000
21	7,211	3,175	4,256	4,592	5,615	4,609	2000
22	2,444	3,084	3,443	4,012	6,714	3,779	2000
23	6,975	10,593	7,499	11,661	14,658	10,142	2000
24	2,643	3,644	6,184	9,385	15,938	7,126	2000
25	5,204	3,902	4,988	3,822	1,200	3,978	2000
26	7,879	4,894	3,241	5,324	6,097	5,112	2000
27	6,937	5,734	3,664	1,274	1,286	3,696	2000
28	6,384	9,099	7,581	12,886	14,833	10,044	2000
29	8,695	12,619	9,622	11,478	16,886	11,627	2000
30	8,239	6,951	11,469	14,074	23,924	12,144	2000
31	3,439	3,587	2,327	0,987	1,388	2,329	2000
32	8,766	8,224	9,153	3,886	6,387	7,210	2000

33	11,906	17,753	25,986	35,461	37,824	26,016	2000
34	9,555	5,776	3,383	1,869	2,617	4,278	2000
35	4,860	6,703	2,677	2,080	0,646	3,553	2000
36	4,693	3,219	4,350	1,616	2,179	3,155	2000
37	10,086	15,669	17,268	13,105	13,332	14,438	2000
38	3,723	3,846	5,149	3,709	1,149	3,785	2000
39	8,026	11,725	4,759	2,420	1,975	5,976	2000
40	7,045	9,367	14,919	23,006	38,954	17,573	2000
41	12,260	9,087	4,350	3,564	3,045	6,163	2000
42	6,712	7,166	9,836	16,667	9,446	10,437	2000
43	6,514	7,247	5,616	4,741	3,818	5,692	2000
44	11,503	4,321	2,016	0,982	0,897	3,380	2000
45	6,097	5,989	6,469	7,984	5,918	6,612	2000
46	8,914	11,527	5,675	6,416	1,944	7,262	2000
47	9,698	4,483	6,717	5,581	6,270	6,191	2000
48	8,096	12,582	18,669	29,502	38,872	21,059	2000
49	6,967	9,245	6,450	6,246	10,552	7,675	2000
50	10,966	14,558	20,878	12,522	10,849	14,716	2000
51	7,798	4,306	6,713	9,235	14,830	7,892	2000
52	7,996	12,195	20,338	32,507	33,203	21,410	2000
53	13,104	14,906	16,790	17,701	11,174	15,384	2000
54	15,413	9,322	11,294	3,944	2,311	8,355	2000
55	10,517	5,275	4,379	7,129	5,335	6,177	2000
56	11,359	16,398	15,882	12,775	9,385	13,857	2000
57	6,293	5,041	7,380	9,575	12,877	7,895	2000
58	10,599	9,720	13,946	9,539	12,825	11,229	2000
59	7,062	3,243	4,189	6,583	11,092	5,773	2000
60	9,873	14,457	19,073	6,128	8,007	12,149	2000
61	5,287	8,422	10,365	8,772	10,348	8,844	2000
62	7,631	5,464	3,859	2,426	2,036	4,146	2000
63	6,509	8,667	11,580	5,138	5,321	7,825	2000
64	10,020	8,814	6,070	4,934	2,436	6,511	2000
65	12,199	4,051	1,708	1,473	0,704	3,421	2000
66	12,648	10,708	12,756	9,750	8,038	10,889	2000
67	11,207	7,248	6,450	6,515	9,991	7,703	2000
68	7,556	7,205	5,808	9,795	3,250	7,053	2000
69	10,688	8,036	10,648	12,838	13,135	10,858	2000

70	5,261	8,046	13,196	14,789	18,653	11,997	2000
71	10,143	5,355	8,959	12,559	5,745	8,704	2000
72	4,709	7,975	6,502	9,876	10,849	8,033	2000
73	5,855	7,411	6,167	3,579	3,725	5,487	2000
74	8,344	5,162	2,156	1,833	1,219	3,483	2000
75	4,530	6,217	7,181	2,292	1,966	4,734	2000
76	12,518	21,122	20,484	26,081	34,423	22,789	2000
77	4,561	6,143	8,339	4,015	4,606	5,770	2000
78	7,709	10,186	7,545	6,030	5,200	7,554	2000
79	5,845	8,547	8,768	3,734	5,916	6,732	2000
80	13,568	4,564	1,842	0,648	1,098	3,597	2000
81	10,778	3,942	4,190	6,805	7,534	6,023	2000
82	8,332	14,113	12,100	5,868	3,001	9,437	2000
83	11,139	5,121	7,560	10,436	13,697	8,884	2000
84	11,150	17,845	25,935	16,422	13,393	18,118	2000
85	10,321	3,455	2,236	3,193	1,867	3,745	2000
86	9,476	15,731	13,892	22,070	21,101	16,745	2000
87	10,979	17,578	7,754	9,422	11,436	11,490	2000
88	15,662	16,879	17,437	21,083	34,608	20,134	2000
89	5,448	6,556	2,618	3,331	4,030	4,311	2000
90	8,778	13,404	8,004	5,568	8,809	8,942	2000
91	7,751	11,622	9,620	8,963	13,397	10,195	2000
92	8,426	13,949	17,323	11,268	16,415	13,740	2000
93	9,209	11,815	4,276	4,497	6,865	7,156	2000
94	12,466	21,084	26,449	17,415	11,898	19,283	2000
95	10,785	11,398	4,830	3,885	1,984	6,624	2000
96	4,741	4,401	5,841	5,608	8,442	5,610	2000
97	4,180	6,576	3,218	2,585	2,222	3,895	2000
98	11,679	5,044	5,870	4,323	1,586	5,467	2000
99	9,445	9,905	4,854	7,220	11,249	8,082	2000
100	12,681	6,677	10,500	8,756	10,449	9,374	2000

## D Apêndice - Cenários com 10 máquinas e variação de até 20%

#	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$	$p_9$	$p_{10}$	$p_{eq}$	$U$
1	9,056	8,053	7,563	8,737	9,993	11,726	10,261	10,131	11,662	13,097	9,911	2000
2	8,447	8,568	6,882	7,393	8,835	9,711	9,986	10,023	9,928	10,763	8,992	2000
3	4,886	5,204	4,999	5,258	5,940	6,469	7,499	8,643	7,135	6,417	6,311	2000
4	7,202	8,205	8,495	9,347	8,564	8,721	7,635	6,662	5,978	6,001	7,801	2000
5	9,884	8,497	9,775	11,409	9,456	8,564	7,037	8,404	6,743	6,928	8,699	2000
6	10,169	10,861	11,767	11,108	11,370	10,486	9,268	9,876	11,752	10,960	10,784	2000
7	5,376	5,939	5,211	5,854	5,110	5,694	6,535	6,947	6,223	6,065	5,915	2000
8	7,909	9,486	9,037	8,000	6,670	5,823	5,917	5,460	5,598	4,926	6,934	2000
9	4,120	3,730	3,272	2,801	2,519	2,569	3,067	2,736	2,612	2,911	2,980	2000
10	8,231	9,499	10,703	9,840	11,440	12,120	14,197	11,534	10,415	11,601	11,074	2000
11	12,305	13,355	10,738	11,554	13,200	13,868	14,788	11,979	11,172	13,205	12,601	2000
12	11,267	12,036	11,379	12,223	13,602	15,351	15,093	14,320	13,943	14,610	13,432	2000
13	8,285	9,099	9,931	11,336	10,177	9,477	10,937	8,862	8,386	9,703	9,689	2000
14	11,962	11,548	11,081	11,482	10,627	11,011	8,970	9,606	10,691	9,547	10,641	2000
15	11,224	9,198	10,577	8,890	7,569	8,412	9,586	8,334	8,282	8,321	8,958	2000
16	9,268	10,249	8,756	7,092	8,312	8,050	8,715	8,236	9,068	9,177	8,633	2000
17	6,135	6,989	5,913	5,731	4,898	4,076	4,473	5,161	5,806	6,854	5,505	2000
18	8,415	8,523	7,489	6,425	6,645	7,439	7,806	8,628	7,508	7,731	7,615	2000
19	11,777	13,522	11,126	9,335	8,049	6,825	8,130	7,370	6,956	7,988	9,022	2000
20	10,449	8,876	9,186	9,049	9,573	9,562	10,303	9,962	8,267	9,720	9,429	2000
21	7,211	6,058	6,647	6,797	7,230	7,795	8,927	8,738	7,805	6,495	7,428	2000
22	2,444	2,627	2,714	2,842	3,389	3,312	2,906	3,370	3,287	3,640	3,054	2000
23	6,975	8,009	7,341	8,505	9,130	10,613	11,743	11,711	13,866	14,211	10,168	2000
24	2,643	2,929	3,512	4,031	4,835	4,158	4,984	4,221	3,887	3,361	3,951	2000
25	5,204	4,832	5,216	4,868	3,914	4,684	3,899	3,623	3,573	4,012	4,357	2000
26	7,879	7,026	6,348	7,513	7,825	7,768	6,798	5,556	5,391	4,505	6,713	2000
27	6,937	6,593	5,913	4,811	4,823	4,771	4,006	4,694	5,381	5,352	5,237	2000
28	6,384	7,160	6,819	8,182	8,535	7,302	7,882	6,385	7,342	8,425	7,446	2000
29	8,695	9,816	9,150	9,654	10,954	10,600	9,186	10,968	10,934	12,377	10,200	2000
30	8,239	7,871	9,333	9,939	11,926	13,527	11,412	9,558	8,495	10,132	10,139	2000
31	3,439	3,481	3,132	2,617	2,921	3,478	2,840	2,274	1,881	2,160	2,825	2000
32	8,766	8,611	8,889	7,427	8,793	9,796	10,930	11,738	12,933	11,503	9,917	2000
33	11,906	13,577	15,376	16,978	17,301	20,336	22,754	18,551	22,236	23,598	18,318	2000
34	9,555	8,475	7,472	6,517	7,262	8,243	9,494	9,708	8,995	8,695	8,366	2000
35	4,860	5,387	4,463	4,178	3,355	2,831	2,518	2,375	2,117	2,241	3,419	2000
36	4,693	4,272	4,701	3,857	4,241	5,018	5,600	5,383	6,373	5,530	4,951	2000
37	10,086	11,681	12,022	11,194	11,249	13,480	16,092	17,032	19,461	18,687	14,066	2000
38	3,723	3,758	4,122	3,793	3,045	2,984	2,438	2,104	2,480	2,065	3,069	2000
39	8,026	9,083	7,541	6,482	6,141	6,818	6,371	5,374	5,346	5,759	6,672	2000

40	7,045	7,708	9,013	10,409	12,471	14,937	14,591	14,942	13,442	14,006	12,004	2000
41	12,260	11,353	9,662	9,163	8,782	10,027	10,018	10,750	9,867	8,256	9,987	2000
42	6,712	6,842	7,570	9,072	7,949	7,416	6,039	5,513	4,728	5,146	6,784	2000
43	6,514	6,723	6,291	6,011	5,677	6,429	6,829	7,898	6,404	6,283	6,518	2000
44	11,503	9,451	8,010	6,836	6,667	6,725	6,474	5,621	6,324	6,397	7,229	2000
45	6,097	6,066	6,205	6,620	6,131	6,861	6,469	5,891	6,700	6,066	6,336	2000
46	8,914	9,661	8,260	8,568	6,862	7,093	6,010	6,557	5,550	5,509	7,308	2000
47	9,698	8,208	9,376	8,923	9,238	8,990	8,393	9,313	8,903	9,797	9,010	2000
48	8,096	9,378	10,674	12,444	13,573	11,859	11,722	10,678	12,484	12,195	11,440	2000
49	6,967	7,618	6,960	6,897	8,256	7,737	8,036	8,774	7,390	7,044	7,630	2000
50	10,966	11,992	13,479	11,938	11,482	9,574	9,770	10,338	10,009	10,180	11,017	2000
51	7,798	6,800	7,886	8,733	10,245	10,721	12,809	12,346	14,292	15,635	10,617	2000
52	7,996	9,196	10,950	12,822	12,900	11,537	13,732	11,240	13,074	12,510	11,745	2000
53	13,104	13,619	14,111	14,330	12,820	12,350	12,959	11,614	11,260	13,302	12,918	2000
54	15,413	13,673	14,499	11,803	10,406	11,305	11,176	10,589	12,653	10,747	12,132	2000
55	10,517	9,019	8,582	10,122	9,394	8,744	7,997	9,246	10,426	8,375	9,220	2000
56	11,359	12,799	12,684	11,975	11,067	8,911	9,789	8,726	9,201	7,400	10,504	2000
57	6,293	5,935	6,722	7,293	8,012	8,041	6,654	7,813	6,299	5,262	6,950	2000
58	10,599	10,348	11,633	10,583	11,625	10,800	10,762	11,590	13,803	16,454	11,630	2000
59	7,062	5,971	6,469	7,525	8,998	9,062	9,646	11,231	13,034	15,043	9,221	2000
60	9,873	11,183	12,203	9,837	10,699	11,171	10,616	10,008	8,461	8,400	10,368	2000
61	5,287	6,183	6,591	6,301	6,625	7,114	6,541	6,412	5,987	6,950	6,430	2000
62	7,631	7,012	6,423	5,742	5,478	6,330	6,332	5,456	5,352	5,754	6,091	2000
63	6,509	7,125	7,809	6,568	6,635	7,265	6,867	7,759	7,447	7,376	7,158	2000
64	10,020	9,675	8,814	8,343	7,136	7,678	8,286	9,150	10,580	12,617	8,998	2000
65	12,199	9,871	8,240	7,916	6,736	5,450	6,033	6,052	7,039	6,326	7,400	2000
66	12,648	12,094	12,755	11,896	11,299	10,076	11,502	13,475	12,550	14,981	12,162	2000
67	11,207	10,076	9,759	9,787	11,279	10,128	9,273	10,375	11,617	9,633	10,302	2000
68	7,556	7,456	7,043	8,424	6,816	6,929	8,228	9,515	9,616	8,417	8,002	2000
69	10,688	9,930	10,852	11,490	11,566	11,326	9,394	8,944	7,411	8,603	10,062	2000
70	5,261	6,057	7,165	7,412	7,965	8,863	8,095	6,618	5,384	5,134	6,973	2000
71	10,143	8,775	10,462	11,663	9,855	9,324	8,005	7,929	7,196	8,290	9,158	2000
72	4,709	5,642	5,344	6,136	6,309	5,963	5,086	5,533	5,829	4,825	5,623	2000
73	5,855	6,300	5,998	5,279	5,341	5,296	4,761	5,414	5,505	6,179	5,546	2000
74	8,344	7,435	6,198	5,932	5,364	4,544	3,949	4,173	4,757	5,257	5,461	2000
75	4,530	5,012	5,234	4,216	4,045	4,107	3,729	3,109	2,528	2,033	3,918	2000
76	12,518	14,976	14,847	16,006	17,469	16,012	12,893	15,135	15,731	14,928	15,199	2000
77	4,561	5,013	5,525	4,707	4,905	5,111	6,073	5,241	4,304	3,584	4,995	2000
78	7,709	8,417	7,794	7,347	7,058	6,671	7,810	8,045	8,294	7,682	7,681	2000
79	5,845	6,617	6,666	5,573	6,503	7,051	6,888	6,862	7,109	5,923	6,573	2000
80	13,568	10,995	9,121	7,432	8,905	8,858	7,176	7,804	7,884	7,385	8,739	2000
81	10,778	8,825	8,984	10,586	10,910	12,619	11,414	13,418	15,144	12,973	11,531	2000
82	8,332	9,984	9,577	8,168	7,028	6,604	5,693	5,741	5,229	4,954	7,185	2000
83	11,139	9,419	10,701	11,864	12,923	13,503	12,641	11,245	10,661	9,268	11,462	2000
84	11,150	13,063	14,755	13,209	12,513	11,589	11,662	13,165	15,225	17,341	13,270	2000

85	10,321	8,359	7,516	8,435	7,434	6,908	7,279	8,278	9,606	8,756	8,150	2000
86	9,476	11,263	10,887	12,718	12,559	11,932	13,317	13,625	14,672	13,294	12,484	2000
87	10,979	12,864	10,810	11,474	12,175	13,312	11,334	11,824	11,932	13,601	12,002	2000
88	15,662	16,010	16,161	17,126	20,265	17,718	16,299	14,263	12,817	13,107	16,116	2000
89	5,448	5,764	4,775	5,147	5,455	4,876	4,927	4,864	3,918	4,195	4,950	2000
90	8,778	10,100	8,937	8,160	9,517	10,836	10,895	11,540	9,728	11,291	9,972	2000
91	7,751	8,857	8,421	8,257	9,424	11,110	11,177	9,760	8,981	7,603	9,296	2000
92	8,426	10,004	10,695	9,627	10,883	11,493	12,421	10,797	10,064	10,554	10,608	2000
93	9,209	9,954	8,139	8,259	9,502	8,623	9,732	10,440	11,944	13,309	9,761	2000
94	12,466	14,928	16,013	14,450	13,142	15,219	17,916	16,584	18,723	19,710	15,896	2000
95	10,785	10,960	9,156	8,644	7,435	7,880	9,404	10,974	10,552	8,603	9,411	2000
96	4,741	4,644	5,078	5,020	5,745	6,342	6,244	6,014	6,466	5,675	5,640	2000
97	4,180	4,865	4,155	3,922	3,764	4,491	4,086	4,109	3,586	3,268	4,078	2000
98	11,679	9,783	10,240	9,469	7,756	6,285	5,502	5,932	5,814	5,481	7,707	2000
99	9,445	9,576	8,181	9,320	10,806	9,301	10,764	9,033	7,922	6,654	9,217	2000
100	12,681	10,966	12,760	12,155	12,826	12,587	14,205	15,651	18,603	17,420	13,867	2000

## E Apêndice - Cenários com 10 máquinas e variação de até 50%

#	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$	$p_9$	$p_{10}$	$p_{eq}$	$U$
1	6,700	8,854	6,775	10,014	8,687	11,165	15,872	9,161	7,792	5,223	9,365	2000
2	6,551	4,883	6,360	8,139	5,594	7,837	9,617	6,243	7,538	7,741	7,040	2000
3	8,575	7,517	5,183	4,721	5,320	5,505	3,933	2,563	1,829	2,721	4,691	2000
4	8,167	11,003	10,491	13,554	12,658	10,998	7,375	8,148	5,125	5,763	9,591	2000
5	10,309	12,846	11,305	7,339	7,351	10,804	14,264	18,094	16,127	23,549	12,784	2000
6	5,439	5,919	5,698	8,025	11,105	7,583	8,167	7,651	7,017	8,550	7,573	2000
7	12,576	7,895	7,438	6,924	9,790	7,584	5,569	6,323	5,937	7,098	7,477	2000
8	8,945	8,004	10,210	8,025	4,732	5,187	6,756	7,739	5,429	6,331	7,080	2000
9	8,256	10,191	11,944	8,794	5,366	2,860	2,215	1,479	1,982	1,387	5,517	2000
10	7,911	9,187	9,339	7,656	9,894	11,511	16,081	20,412	21,308	27,354	13,669	2000
11	12,833	9,244	12,374	7,185	6,314	4,621	3,789	2,148	1,789	1,549	6,073	2000
12	7,593	5,879	5,520	7,495	9,189	13,168	8,296	11,596	15,730	19,490	10,046	2000
13	9,213	9,459	10,463	10,378	10,849	15,905	21,136	17,856	15,057	18,516	13,885	2000
14	8,202	12,198	14,503	16,521	22,460	16,499	19,146	13,455	14,626	18,505	15,862	2000
15	14,536	7,956	8,026	7,248	10,272	12,536	9,229	10,555	8,366	9,846	9,598	2000
16	6,482	8,025	8,078	10,717	5,693	2,893	1,637	1,808	2,425	2,981	5,112	2000
17	8,768	6,049	5,344	2,970	2,888	1,509	1,377	0,723	0,969	1,094	2,973	2000
18	1,147	0,784	1,062	1,039	1,148	0,772	0,762	0,985	0,942	1,262	0,966	2000
19	11,664	13,194	11,675	14,965	21,042	17,921	23,625	18,294	24,646	21,548	17,996	2000
20	6,878	3,674	5,049	2,779	2,089	2,746	3,172	4,030	2,606	2,398	3,420	2000
21	14,271	15,156	20,718	21,106	11,733	16,910	19,925	13,238	7,259	6,917	15,182	2000
22	9,547	12,650	17,234	21,215	18,810	11,119	10,904	15,534	12,722	6,444	14,243	2000
23	8,199	8,761	6,539	5,239	4,745	2,528	2,957	3,513	3,809	3,329	4,873	2000
24	11,779	12,896	11,993	17,401	24,926	13,356	12,268	6,837	7,254	9,509	13,064	2000
25	6,920	8,376	5,601	6,121	5,525	2,905	3,961	2,273	2,218	2,947	4,657	2000
26	17,046	22,161	25,138	31,947	38,880	19,482	20,805	25,574	27,976	20,431	25,634	2000
27	9,668	9,376	9,886	12,127	16,643	12,561	9,289	13,092	16,660	22,578	12,862	2000
28	6,880	9,175	8,944	10,784	6,098	5,593	3,167	4,385	2,597	3,583	6,219	2000
29	10,252	13,525	18,949	26,399	33,058	47,076	29,257	30,462	38,681	41,905	29,276	2000
30	10,109	14,754	16,625	13,039	15,747	23,127	14,687	13,727	6,935	7,346	14,152	2000
31	6,259	3,308	3,941	3,298	2,783	2,100	1,601	1,147	0,747	0,795	2,495	2000
32	8,049	11,009	12,539	7,539	10,056	10,362	8,597	10,593	6,309	5,008	9,281	2000
33	12,147	7,471	7,232	5,619	3,048	4,254	4,076	5,115	6,502	7,581	5,909	2000
34	9,504	6,750	8,689	8,829	5,929	6,348	4,565	5,451	4,791	6,761	6,609	2000
35	9,094	7,317	3,810	5,500	3,796	4,863	5,644	7,351	8,481	10,746	6,298	2000
36	5,969	7,114	4,680	3,351	3,142	2,376	2,155	1,696	1,491	2,110	3,338	2000
37	10,148	12,344	18,078	22,920	22,631	28,454	23,928	22,460	18,243	23,626	20,661	2000
38	6,541	7,294	10,607	11,458	12,781	6,581	8,867	12,644	9,509	9,565	9,755	2000
39	10,085	10,808	9,058	10,562	8,757	7,206	7,141	10,170	11,170	14,374	9,678	2000

40	9,280	9,771	9,307	13,688	20,468	25,226	24,470	36,444	37,903	19,284	21,284	2000
41	6,575	9,112	5,257	5,621	7,746	8,011	10,220	15,138	9,672	14,121	9,014	2000
42	2,942	2,498	2,669	2,201	2,529	2,168	3,209	2,149	1,423	1,962	2,366	2000
43	6,784	6,127	5,336	5,975	3,532	4,986	4,326	4,350	4,039	5,923	5,003	2000
44	10,149	11,943	10,612	5,445	3,541	3,482	3,664	5,344	2,688	3,115	5,928	2000
45	14,193	14,227	9,189	8,358	6,374	7,673	9,431	8,371	7,450	7,625	9,109	2000
46	8,391	11,977	12,817	16,686	9,831	7,911	10,462	13,781	17,791	14,126	12,502	2000
47	6,011	8,361	4,484	6,446	7,648	8,005	6,455	6,014	4,370	5,131	6,373	2000
48	5,080	6,982	5,193	4,269	4,346	3,121	3,686	5,151	6,485	4,268	4,879	2000
49	6,007	5,331	3,360	2,968	4,038	4,735	3,403	3,692	4,267	6,275	4,215	2000
50	7,305	8,712	12,626	10,543	11,329	14,508	19,850	20,310	19,306	27,868	14,974	2000
51	14,256	10,567	11,138	9,746	11,282	15,291	22,888	25,917	12,989	6,895	14,488	2000
52	7,357	5,831	4,411	2,792	3,280	3,397	4,761	4,553	5,020	5,885	4,518	2000
53	6,424	8,841	8,028	6,737	4,372	6,545	5,631	3,317	3,518	1,922	5,685	2000
54	9,148	6,364	5,718	3,859	4,086	5,714	5,205	5,298	2,838	4,075	5,077	2000
55	8,400	11,612	9,687	11,410	16,515	10,389	11,195	13,416	12,001	16,523	12,076	2000
56	5,688	3,304	1,818	2,229	1,967	1,409	1,609	2,031	1,661	1,533	2,182	2000
57	9,722	10,906	12,471	8,240	7,941	9,272	10,015	11,608	14,100	8,309	10,396	2000
58	10,143	5,261	7,871	4,495	4,384	5,673	4,814	5,872	3,955	4,325	5,507	2000
59	15,691	21,993	11,064	7,636	3,876	4,748	4,912	4,450	4,445	6,342	8,238	2000
60	12,598	18,698	25,628	27,754	14,568	14,251	21,168	31,446	45,272	34,100	24,682	2000
61	9,844	12,131	7,084	9,616	10,041	9,067	9,436	6,214	6,809	10,133	8,932	2000
62	5,392	4,488	5,483	5,018	4,739	4,704	3,567	3,531	2,208	1,962	4,157	2000
63	10,395	5,432	6,364	3,268	3,925	3,860	3,932	3,265	4,532	3,620	4,621	2000
64	10,056	6,810	7,227	7,008	4,201	3,193	2,041	1,975	2,564	3,749	4,658	2000
65	7,230	9,702	9,403	11,878	14,913	16,361	16,617	11,767	14,053	12,485	12,728	2000
66	6,439	9,041	10,429	5,976	6,772	5,382	6,000	6,617	8,155	6,981	7,231	2000
67	8,260	8,529	11,175	11,010	9,378	8,150	11,200	12,225	11,010	5,623	9,958	2000
68	13,618	8,836	5,576	4,842	5,152	2,627	3,004	3,420	2,604	2,628	4,909	2000
69	10,638	5,670	6,050	8,649	10,187	8,190	5,930	6,605	7,493	7,730	7,551	2000
70	13,695	12,390	13,038	8,875	5,470	4,444	4,497	2,495	3,571	1,865	6,951	2000
71	9,749	5,415	7,597	10,487	12,515	9,800	11,536	12,966	14,386	12,860	10,667	2000
72	3,113	3,995	3,453	4,955	2,684	3,731	3,036	3,595	2,811	1,951	3,421	2000
73	6,573	4,326	2,608	1,969	2,651	2,994	2,622	3,270	4,537	5,654	3,454	2000
74	7,504	6,708	4,954	5,034	3,046	4,172	5,967	5,315	6,011	4,979	5,272	2000
75	9,915	11,068	8,654	8,104	8,903	8,173	11,062	8,926	10,620	13,920	9,714	2000
76	8,132	9,682	10,833	15,411	19,043	12,607	9,455	13,564	9,140	11,083	12,149	2000
77	13,373	12,903	15,109	7,657	10,573	13,410	7,260	10,677	11,477	12,808	11,351	2000
78	11,621	13,845	14,360	12,739	11,550	7,189	5,147	7,389	3,891	3,537	9,299	2000
79	6,141	7,669	9,526	8,371	11,431	17,069	24,901	18,385	14,850	10,564	13,395	2000
80	8,905	7,306	9,536	8,902	6,624	6,159	5,949	3,553	4,053	5,099	6,565	2000
81	9,342	12,856	8,915	11,223	13,789	12,600	11,652	7,887	8,794	4,454	10,513	2000
82	5,839	4,157	2,388	2,372	1,833	1,082	0,820	0,914	0,486	0,351	1,905	2000
83	9,468	12,337	17,556	14,422	10,519	11,048	7,529	7,367	5,847	6,995	10,540	2000
84	12,901	18,511	23,072	33,402	38,784	32,195	39,559	49,937	52,531	36,910	34,766	2000

85	5,532	2,797	1,492	0,952	1,397	0,883	1,210	1,255	1,509	1,871	1,689	2000
86	9,648	5,610	4,079	3,724	2,753	2,230	1,257	0,749	0,908	1,040	2,962	2000
87	11,413	8,787	10,867	12,740	17,472	12,316	9,952	9,640	9,364	6,400	11,116	2000
88	6,804	3,592	4,864	6,030	6,350	7,246	7,577	3,934	5,309	6,623	5,735	2000
89	4,146	2,323	2,856	2,439	1,486	2,046	2,684	3,119	1,714	1,517	2,389	2000
90	11,517	12,456	8,110	9,481	8,193	10,530	7,650	6,087	6,741	5,079	8,616	2000
91	7,946	10,103	11,085	14,265	19,878	25,543	35,679	25,171	34,196	46,489	22,571	2000
92	6,851	9,255	7,769	8,196	11,225	15,095	22,009	25,213	19,655	26,428	15,006	2000
93	6,179	6,787	4,553	2,978	4,258	4,999	3,569	3,998	5,941	4,368	4,706	2000
94	11,190	13,234	18,883	14,900	12,272	12,383	18,516	22,827	29,720	18,921	17,532	2000
95	7,686	6,056	6,532	3,342	2,911	3,096	2,798	4,175	3,449	3,602	4,223	2000
96	8,252	6,016	7,186	8,091	8,338	7,982	5,092	5,764	8,370	9,327	7,292	2000
97	6,984	8,388	11,939	9,680	8,222	5,156	4,502	6,153	8,585	5,646	7,660	2000
98	11,403	6,230	9,060	7,889	10,441	14,294	15,286	19,239	13,760	17,208	12,278	2000
99	4,533	2,544	1,774	1,494	0,915	0,801	1,162	0,758	0,593	0,414	1,391	2000
100	10,362	14,117	17,496	19,618	10,670	7,380	9,759	10,216	12,288	10,213	12,426	2000

## F Apêndice - Cenários com 10 máquinas e variação de até 70%

#	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$	$p_9$	$p_{10}$	$p_{eq}$	$U$
1	6,700	9,716	6,523	10,889	8,869	12,411	19,736	8,053	6,369	3,429	9,737	2000
2	6,551	4,215	6,000	8,350	4,694	7,329	9,659	4,914	6,341	6,580	6,452	2000
3	8,575	7,094	4,011	3,510	4,133	4,334	2,601	1,332	0,798	1,343	3,641	2000
4	8,167	12,137	11,347	15,986	14,507	11,844	6,382	7,319	3,517	4,130	9,910	2000
5	10,309	13,861	11,534	5,870	5,884	9,753	14,126	19,437	16,479	27,097	12,850	2000
6	5,439	6,111	5,791	9,103	13,995	7,781	8,620	7,857	6,946	9,070	8,162	2000
7	12,576	6,022	5,534	4,999	7,896	5,405	3,395	4,039	3,693	4,704	5,514	2000
8	8,945	7,628	10,572	7,404	3,150	3,574	5,087	6,124	3,565	4,395	5,975	2000
9	8,256	10,965	13,606	8,582	3,898	1,349	0,923	0,494	0,729	0,423	4,987	2000
10	7,911	9,697	9,921	7,418	10,454	12,846	19,986	27,521	29,213	40,818	16,825	2000
11	12,833	7,808	11,509	4,752	3,946	2,465	1,843	0,725	0,555	0,451	4,472	2000
12	7,593	5,193	4,749	7,127	9,382	15,070	7,264	11,310	16,956	22,631	10,240	2000
13	9,213	9,557	10,978	10,853	11,542	19,072	27,853	21,802	17,017	22,489	16,058	2000
14	8,202	13,796	17,446	20,844	31,335	19,692	24,115	14,081	15,796	21,660	19,115	2000
15	14,536	5,324	5,390	4,659	7,380	9,657	6,091	7,316	5,192	6,478	6,835	2000
16	6,482	8,642	8,722	12,712	4,369	1,361	0,534	0,612	0,904	1,194	4,633	2000
17	8,768	4,961	4,151	1,569	1,508	0,500	0,439	0,147	0,217	0,256	2,000	2000
18	1,147	0,638	0,955	0,925	1,061	0,575	0,565	0,796	0,747	1,103	0,821	2000
19	11,664	13,806	11,580	16,149	25,330	20,071	29,015	19,849	29,498	24,307	20,365	2000
20	6,878	2,392	3,645	1,350	0,881	1,269	1,544	2,129	1,076	0,956	2,023	2000
21	14,271	15,510	23,479	24,094	9,114	14,744	18,424	9,767	3,591	3,354	14,171	2000
22	9,547	13,891	20,938	27,710	23,311	9,967	9,697	15,462	11,543	3,568	15,453	2000
23	8,199	8,986	5,795	4,182	3,630	1,256	1,555	1,964	2,195	1,808	3,841	2000
24	11,779	13,343	12,035	19,633	31,520	11,037	9,779	3,718	4,035	5,791	12,654	2000
25	6,920	8,958	4,803	5,427	4,687	1,575	2,377	0,959	0,927	1,354	3,761	2000
26	17,046	24,207	28,760	39,667	51,718	15,593	17,075	22,554	25,520	15,884	26,840	2000
27	9,668	9,259	9,965	13,127	19,970	13,114	8,332	13,108	18,109	27,115	13,708	2000
28	6,880	10,093	9,737	12,542	4,912	4,343	1,705	2,623	1,126	1,724	5,709	2000
29	10,252	14,834	23,162	35,911	48,593	77,440	36,403	38,503	53,047	59,236	40,293	2000
30	10,109	16,612	19,561	13,655	17,625	29,190	14,276	12,970	3,986	4,317	15,010	2000
31	6,259	2,128	2,698	2,082	1,627	1,068	0,713	0,430	0,220	0,240	1,580	2000
32	8,049	12,192	14,564	6,433	9,440	9,842	7,495	9,931	4,309	3,065	8,863	2000
33	12,147	5,601	5,350	3,679	1,322	2,054	1,934	2,624	3,620	4,461	3,832	2000
34	9,504	5,649	7,920	8,099	4,374	4,807	2,917	3,709	3,081	4,855	5,304	2000
35	9,094	6,606	2,174	3,524	1,995	2,780	3,405	4,847	5,891	8,093	4,424	2000
36	5,969	7,571	3,945	2,377	2,169	1,429	1,243	0,873	0,725	1,147	2,654	2000
37	10,148	13,223	21,822	30,005	29,476	40,093	31,164	28,487	20,998	29,672	26,131	2000
38	6,541	7,596	12,426	13,821	16,055	5,152	7,657	12,223	7,980	8,046	10,023	2000
39	10,085	11,097	8,582	10,577	8,046	6,051	5,975	9,523	10,834	15,185	9,258	2000

40	9,280	9,968	9,306	15,438	26,144	34,653	33,199	55,942	59,078	18,450	28,621	2000
41	6,575	10,127	4,128	4,529	6,926	7,257	10,059	16,836	8,325	13,686	8,702	2000
42	2,942	2,321	2,543	1,919	2,319	1,856	3,104	1,668	0,879	1,345	2,084	2000
43	6,784	5,864	4,804	5,609	2,399	3,781	3,080	3,104	2,793	4,617	4,126	2000
44	10,149	12,661	10,686	3,402	1,737	1,697	1,821	2,990	0,910	1,112	4,615	2000
45	14,193	14,241	7,180	6,271	4,187	5,382	7,108	5,989	5,066	5,233	7,237	2000
46	8,391	13,412	14,729	20,954	8,901	6,468	9,388	13,558	19,081	13,578	13,053	2000
47	6,011	9,301	3,263	5,262	6,635	7,069	5,153	4,660	2,876	3,577	5,446	2000
48	5,080	7,742	4,965	3,728	3,822	2,314	2,900	4,513	6,150	3,206	4,475	2000
49	6,007	5,060	2,441	2,043	3,074	3,817	2,314	2,589	3,153	5,230	3,345	2000
50	7,305	9,275	15,109	11,620	12,833	17,875	27,090	27,970	26,034	42,197	19,173	2000
51	14,256	9,091	9,779	8,067	9,847	14,745	25,001	29,633	8,939	3,067	13,752	2000
52	7,357	5,220	3,441	1,673	2,082	2,186	3,415	3,206	3,667	4,551	3,427	2000
53	6,424	9,808	8,545	6,621	3,367	5,710	4,593	1,951	2,116	0,772	5,145	2000
54	9,148	5,250	4,504	2,454	2,656	4,138	3,622	3,713	1,299	2,092	3,695	2000
55	8,400	12,897	9,904	12,371	20,120	9,671	10,722	13,700	11,677	17,837	12,687	2000
56	5,688	2,351	0,871	1,146	0,957	0,577	0,692	0,946	0,704	0,628	1,267	2000
57	9,722	11,379	13,665	7,175	6,811	8,409	9,352	11,434	14,870	6,320	10,124	2000
58	10,143	3,308	5,605	2,240	2,163	3,053	2,406	3,147	1,709	1,933	3,297	2000
59	15,691	24,513	7,460	4,224	1,312	1,725	1,808	1,570	1,568	2,505	5,920	2000
60	12,598	21,138	32,106	35,835	12,000	11,634	19,539	32,820	53,021	34,703	26,860	2000
61	9,844	13,046	5,448	8,175	8,680	7,501	7,929	4,138	4,693	7,901	7,609	2000
62	5,392	4,126	5,407	4,765	4,394	4,349	2,878	2,837	1,349	1,139	3,708	2000
63	10,395	3,447	4,275	1,364	1,748	1,708	1,753	1,337	2,063	1,482	2,626	2000
64	10,056	5,511	5,984	5,730	2,517	1,671	0,827	0,790	1,120	1,844	3,344	2000
65	7,230	10,690	10,229	13,998	19,005	21,588	22,060	13,045	16,593	14,001	15,314	2000
66	6,439	10,082	12,250	4,927	5,846	4,167	4,836	5,532	7,333	5,855	6,791	2000
67	8,260	8,636	12,387	12,130	9,613	7,850	11,962	13,494	11,617	3,659	10,405	2000
68	13,618	6,923	3,348	2,731	2,976	0,934	1,122	1,340	0,892	0,904	3,059	2000
69	10,638	3,683	4,029	6,452	8,058	5,846	3,587	4,158	4,941	5,160	5,406	2000
70	13,695	11,869	12,738	7,043	3,260	2,404	2,444	0,921	1,477	0,489	5,472	2000
71	9,749	3,681	5,757	8,823	11,212	7,807	9,744	11,434	13,187	11,229	9,126	2000
72	3,113	4,347	3,521	5,666	2,031	3,140	2,321	2,919	2,028	1,159	3,123	2000
73	6,573	3,427	1,521	0,999	1,483	1,752	1,447	1,948	3,005	4,040	2,321	2000
74	7,504	6,390	4,050	4,142	1,852	2,811	4,505	3,816	4,515	3,430	4,172	2000
75	9,915	11,529	8,008	7,296	8,304	7,351	10,989	8,019	10,150	14,566	9,321	2000
76	8,132	10,302	12,017	19,127	25,438	13,401	8,710	14,009	7,612	9,878	13,291	2000
77	13,373	12,715	15,759	4,877	7,477	10,286	3,682	6,108	6,749	7,845	8,696	2000
78	11,621	14,734	15,501	13,051	11,346	5,348	3,221	5,185	1,748	1,526	8,523	2000
79	6,141	8,280	11,086	9,204	13,915	23,523	38,633	24,479	17,890	10,661	17,268	2000
80	8,905	6,666	9,514	8,628	5,536	4,992	4,754	2,073	2,481	3,377	5,643	2000
81	9,342	14,261	8,140	11,091	14,641	12,873	11,518	6,308	7,323	2,263	10,217	2000
82	5,839	3,484	1,408	1,395	0,951	0,406	0,268	0,311	0,107	0,065	1,254	2000
83	9,468	13,484	21,469	16,104	10,002	10,706	5,932	5,754	4,092	5,217	10,543	2000
84	12,901	20,755	27,914	45,411	55,655	42,418	56,001	76,570	82,138	47,944	48,587	2000

85	5,532	1,703	0,590	0,291	0,481	0,233	0,354	0,372	0,478	0,639	0,843	2000
86	9,648	3,994	2,468	2,167	1,376	1,010	0,393	0,171	0,222	0,267	1,862	2000
87	11,413	7,737	10,301	12,787	19,436	11,406	8,340	7,974	7,654	4,262	10,386	2000
88	6,804	2,308	3,452	4,610	4,953	5,932	6,311	2,063	3,072	4,136	4,241	2000
89	4,146	1,594	2,106	1,676	0,759	1,160	1,666	2,044	0,755	0,633	1,572	2000
90	11,517	12,832	6,564	8,118	6,574	9,200	5,678	4,054	4,664	3,054	7,219	2000
91	7,946	10,966	12,459	17,463	27,083	37,888	58,937	34,636	52,022	78,203	32,725	2000
92	6,851	10,216	7,919	8,528	12,941	19,188	31,493	37,911	26,210	38,854	19,695	2000
93	6,179	7,030	3,791	1,955	3,132	3,895	2,335	2,728	4,585	2,885	3,776	2000
94	11,190	14,052	22,450	15,821	11,914	12,065	20,431	27,090	38,543	18,936	19,714	2000
95	7,686	5,404	5,998	1,897	1,555	1,693	1,465	2,475	1,873	1,989	3,022	2000
96	8,252	5,122	6,516	7,665	7,992	7,514	3,705	4,389	7,167	8,314	6,484	2000
97	6,984	8,950	14,254	10,477	8,268	3,952	3,250	4,919	7,641	3,979	7,466	2000
98	11,403	4,160	6,805	5,573	8,097	12,280	13,473	18,351	11,035	14,906	10,325	2000
99	4,533	1,749	1,008	0,785	0,359	0,297	0,484	0,248	0,172	0,099	0,824	2000
100	10,362	15,619	20,852	24,392	8,816	5,011	7,272	7,749	9,950	7,597	12,071	2000

## G Apêndice - Cenários com 15 máquinas e variação de até 20%

#	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	$P_{10}$	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{14}$	$P_{15}$	$P_{eq}$	$U$
1	9,056	8,053	7,563	8,737	9,993	11,726	10,261	10,131	11,662	13,097	12,455	10,878	9,543	9,201	7,455	10,111	2000
2	8,447	8,568	6,882	7,393	8,835	9,711	9,986	10,023	9,928	10,763	8,794	8,714	7,966	7,123	8,071	8,782	2000
3	4,886	5,204	4,999	5,258	5,940	6,469	7,499	8,643	7,135	6,417	5,756	5,706	6,380	5,725	6,098	6,187	2000
4	7,202	8,205	8,495	9,347	8,564	8,721	7,635	6,662	5,978	6,001	6,774	6,819	7,535	8,107	6,846	7,562	2000
5	9,884	8,497	9,775	11,409	9,456	8,564	7,037	8,404	6,743	6,928	5,554	4,637	4,102	4,420	5,091	7,358	2000
6	10,169	10,861	11,767	11,108	11,370	10,486	9,268	9,876	11,752	10,960	12,443	13,564	11,362	9,585	8,145	10,969	2000
7	5,376	5,939	5,211	5,854	5,110	5,694	6,535	6,947	6,223	6,065	6,781	7,119	8,074	8,820	7,317	6,480	2000
8	7,909	9,486	9,037	8,000	6,670	5,823	5,917	5,460	5,598	4,926	4,219	3,563	3,569	3,330	3,826	5,819	2000
9	4,120	3,730	3,272	2,801	2,519	2,569	3,067	2,736	2,612	2,911	3,051	3,562	4,269	3,497	3,297	3,165	2000
10	8,231	9,499	10,703	9,840	11,440	12,120	14,197	11,534	10,415	11,601	10,883	11,786	10,774	10,133	9,333	10,979	2000
11	12,305	13,355	10,738	11,554	13,200	13,868	14,788	11,979	11,172	13,205	13,083	11,057	10,819	10,249	9,313	12,134	2000
12	11,267	12,036	11,379	12,223	13,602	15,351	15,093	14,320	13,943	14,610	16,144	14,406	15,221	17,534	15,908	14,246	2000
13	8,285	9,099	9,931	11,336	10,177	9,477	10,937	8,862	8,386	9,703	10,956	10,602	10,423	11,232	11,796	10,083	2000
14	11,962	11,548	11,081	11,482	10,627	11,011	8,970	9,606	10,691	9,547	8,447	6,782	6,041	5,051	5,376	9,254	2000
15	11,224	9,198	10,577	8,890	7,569	8,412	9,586	8,334	8,282	8,321	8,033	6,620	5,533	4,526	5,186	8,006	2000
16	9,268	10,249	8,756	7,092	8,312	8,050	8,715	8,236	9,068	9,177	9,479	8,140	7,768	8,065	6,944	8,515	2000
17	6,135	6,989	5,913	5,731	4,898	4,076	4,473	5,161	5,806	6,854	7,785	8,401	8,976	8,682	8,135	6,491	2000
18	8,415	8,523	7,489	6,425	6,645	7,439	7,806	8,628	7,508	7,731	8,982	10,010	8,963	7,642	9,138	8,041	2000
19	11,777	13,522	11,126	9,335	8,049	6,825	8,130	7,370	6,956	7,988	6,477	6,056	6,860	6,435	7,702	8,205	2000
20	10,449	8,876	9,186	9,049	9,573	9,562	10,303	9,962	8,267	9,720	9,027	8,065	6,572	5,323	5,864	8,689	2000
21	7,211	6,058	6,647	6,797	7,230	7,795	8,927	8,738	7,805	6,495	5,576	4,558	4,384	3,713	4,273	6,462	2000
22	2,444	2,627	2,714	2,842	3,389	3,312	2,906	3,370	3,287	3,640	3,330	2,909	2,895	2,967	3,118	3,069	2000
23	6,975	8,009	7,341	8,505	9,130	10,613	11,743	11,711	13,866	14,211	15,992	19,149	19,402	20,757	21,857	13,203	2000
24	2,643	2,929	3,512	4,031	4,835	4,158	4,984	4,221	3,887	3,361	2,996	3,116	3,704	3,959	3,263	3,760	2000
25	5,204	4,832	5,216	4,868	3,914	4,684	3,899	3,623	3,573	4,012	4,814	5,181	4,888	5,049	5,404	4,561	2000
26	7,879	7,026	6,348	7,513	7,825	7,768	6,798	5,556	5,391	4,505	4,891	4,308	4,686	5,036	4,046	5,972	2000
27	6,937	6,593	5,913	4,811	4,823	4,771	4,006	4,694	5,381	5,352	5,932	5,339	5,618	4,749	4,515	5,265	2000
28	6,384	7,160	6,819	8,182	8,535	7,302	7,882	6,385	7,342	8,425	8,503	7,573	8,888	8,428	7,768	7,750	2000
29	8,695	9,816	9,150	9,654	10,954	10,600	9,186	10,968	10,934	12,377	11,970	10,474	10,913	12,129	14,166	10,754	2000
30	8,239	7,871	9,333	9,939	11,926	13,527	11,412	9,558	8,495	10,132	10,553	8,929	9,605	11,252	10,185	10,125	2000
31	3,439	3,481	3,132	2,617	2,921	3,478	2,840	2,274	1,881	2,160	2,222	1,815	2,177	1,981	1,855	2,545	2000
32	8,766	8,611	8,889	7,427	8,793	9,796	10,930	11,738	12,933	11,503	10,740	12,737	13,213	11,674	9,936	10,595	2000
33	11,906	13,577	15,376	16,978	17,301	20,336	22,754	18,551	22,236	23,598	27,592	30,100	28,476	23,456	23,127	21,275	2000
34	9,555	8,475	7,472	6,517	7,262	8,243	9,494	9,708	8,995	8,695	7,259	6,914	6,698	6,442	6,168	7,860	2000
35	4,860	5,387	4,463	4,178	3,355	2,831	2,518	2,375	2,117	2,241	2,088	1,831	2,092	1,807	1,899	2,904	2000
36	4,693	4,272	4,701	3,857	4,241	5,018	5,600	5,383	6,373	5,530	5,473	6,497	7,283	8,297	6,808	5,591	2000
37	10,086	11,681	12,022	11,194	11,249	13,480	16,092	17,032	19,461	18,687	19,758	21,859	19,523	22,357	25,773	16,595	2000
38	3,723	3,758	4,122	3,793	3,045	2,984	2,438	2,104	2,480	2,065	1,961	1,783	1,817	1,989	1,716	2,647	2000
39	8,026	9,083	7,541	6,482	6,141	6,818	6,371	5,374	5,346	5,759	6,350	6,319	6,376	7,193	6,903	6,616	2000
40	7,045	7,708	9,013	10,409	12,471	14,937	14,591	14,942	13,442	14,006	15,364	13,672	16,287	18,310	15,025	13,299	2000
41	12,260	11,353	9,662	9,163	8,782	10,027	10,018	10,750	9,867	8,256	9,328	9,154	9,813	8,713	9,800	9,708	2000
42	6,712	6,842	7,570	9,072	7,949	7,416	6,039	5,513	4,728	5,146	5,838	5,392	5,101	5,110	5,259	6,264	2000
43	6,514	6,723	6,291	6,011	5,677	6,429	6,829	7,898	6,404	6,283	7,369	7,484	7,049	6,533	6,043	6,661	2000
44	11,503	9,451	8,010	6,836	6,667	6,725	6,474	5,621	6,324	6,397	7,663	6,334	5,792	4,803	5,336	6,823	2000
45	6,097	6,066	6,205	6,620	6,131	6,861	6,469	5,891	6,700	6,066	6,980	6,280	6,489	5,526	4,937	6,272	2000
46	8,914	9,661	8,260	8,568	6,862	7,093	6,010	6,557	5,550	5,509	4,942	4,048	3,470	3,114	3,263	6,124	2000
47	9,698	8,208	9,376	8,923	9,238	8,990	8,393	9,313	8,903	9,797	10,149	10,069	11,686	10,910	9,240	9,530	2000
48	8,096	9,378	10,674	12,444	13,573	11,859	11,722	10,678	12,484	12,195	13,658	11,727	10,345	9,454	8,061	11,305	2000
49	6,967	7,618	6,960	6,897	8,256	7,737	8,036	8,774	7,390	7,044	5,910	5,408	4,439	3,907	3,587	6,689	2000
50	10,966	11,992	13,479	11,938	11,482	9,574	9,770	10,338	10,009	10,180	11,178	10,679	12,667	11,040	12,287	11,139	2000
51	7,798	6,800	7,886	8,733	10,245	10,721	12,809	12,346	14,292	15,635	15,478	18,523	16,424	14,939	15,223	12,596	2000
52	7,996	9,196	10,950	12,822	12,900	11,537	13,732	11,240	13,074	12,510	13,716	13,812	12,790	14,471	12,537	12,358	2000
53	13,104	13,619	14,111	14,330	12,820	12,350	12,959	11,614	11,260	13,302	15,110	14,894	16,057	14,255	16,572	13,680	2000
54	15,413	13,673	14,499	11,803	10,406	11,305	11,176	10,589	12,653	10,747	9,355	8,040	7,471	7,426	7,885	10,771	2000
55	10,517	9,019	8,582	10,122	9,394	8,744	7,997	9,246	10,426	8,375	7,227	6,376	7,366	6,441	7,537	8,453	2000
56	11,359	12,799	12,684	11,975	11,067	8,911	9,789	8,726	9,201	7,400	6,506	7,541	6,702	6,806	6,199	9,206	2000
57	6,293	5,935	6,722	7,293	8,012	8,041	6,654	7,813	6,299	5,262	4,6						

68	7,556	7,456	7,043	8,424	6,816	6,929	8,228	9,515	9,616	8,417	9,917	10,890	12,800	10,631	11,417	9,012	2000
69	10,688	9,930	10,852	11,490	11,566	11,326	9,394	8,944	7,411	8,603	7,843	9,099	9,054	8,774	7,858	9,540	2000
70	5,261	6,057	7,165	7,412	7,965	8,863	8,095	6,618	5,384	5,134	4,690	4,257	3,454	3,197	3,340	5,899	2000
71	10,143	8,775	10,462	11,663	9,855	9,324	8,005	7,929	7,196	8,290	9,104	7,848	6,444	5,323	5,880	8,445	2000
72	4,709	5,642	5,344	6,136	6,309	5,963	5,086	5,533	5,829	4,825	3,889	3,412	3,827	3,397	3,095	4,935	2000
73	5,855	6,300	5,998	5,279	5,341	5,296	4,761	5,414	5,505	6,179	5,591	5,155	5,514	4,822	4,489	5,452	2000
74	8,344	7,435	6,198	5,932	5,364	4,544	3,949	4,173	4,757	5,257	5,405	5,968	5,760	6,816	7,328	5,671	2000
75	4,530	5,012	5,234	4,216	4,045	4,107	3,729	3,109	2,528	2,033	1,866	1,816	1,631	1,431	1,355	3,121	2000
76	12,518	14,976	14,847	16,006	17,469	16,012	12,893	15,135	15,731	14,928	17,695	18,132	18,303	18,664	14,998	16,039	2000
77	4,561	5,013	5,525	4,707	4,905	5,111	6,073	5,241	4,304	3,584	4,056	3,863	4,512	4,890	5,276	4,764	2000
78	7,709	8,417	7,794	7,347	7,058	6,671	7,810	8,045	8,294	7,682	8,369	7,732	8,323	9,111	7,408	7,872	2000
79	5,845	6,617	6,666	5,573	6,503	7,051	6,888	6,862	7,109	5,923	5,823	6,938	5,674	5,505	5,592	6,346	2000
80	13,568	10,995	9,121	7,432	8,905	8,858	7,176	7,804	7,884	7,385	6,568	7,342	7,848	6,948	6,618	8,168	2000
81	10,778	8,825	8,984	10,586	10,910	12,619	11,414	13,418	15,144	12,973	12,216	13,761	14,181	13,458	14,919	12,238	2000
82	8,332	9,984	9,577	8,168	7,028	6,604	5,693	5,741	5,229	4,954	4,536	4,295	4,624	4,012	3,886	6,182	2000
83	11,139	9,419	10,701	11,864	12,923	13,503	12,641	11,245	10,661	9,268	9,009	9,203	8,250	7,576	7,244	10,390	2000
84	11,150	13,063	14,755	13,209	12,513	11,589	11,662	13,165	15,225	17,341	15,676	13,139	10,911	9,463	9,536	13,004	2000
85	10,321	8,359	7,516	8,435	7,434	6,908	7,279	8,278	9,606	8,756	9,137	8,845	7,817	7,364	7,968	8,206	2000
86	9,476	11,263	10,887	12,718	12,559	11,932	13,317	13,625	14,672	13,294	11,885	9,659	9,027	9,216	9,057	11,666	2000
87	10,979	12,864	10,810	11,474	12,175	13,312	11,334	11,824	11,932	13,601	14,109	12,472	11,283	12,479	12,303	12,236	2000
88	15,662	16,010	16,161	17,126	20,265	17,718	16,299	14,263	12,817	13,107	13,132	13,398	13,661	14,233	16,883	15,319	2000
89	5,448	5,764	4,775	5,147	5,455	4,876	4,927	4,864	3,918	4,195	5,001	5,482	6,488	7,490	6,675	5,317	2000
90	8,778	10,100	8,937	8,160	9,517	10,836	10,895	11,540	9,728	11,291	12,790	11,090	9,149	10,188	11,711	10,319	2000
91	7,751	8,857	8,421	8,257	9,424	11,110	11,177	9,760	8,981	7,603	6,382	6,046	4,866	5,609	4,620	8,048	2000
92	8,426	10,004	10,695	9,627	10,883	11,493	12,421	10,797	10,064	10,554	9,160	10,179	8,860	8,304	8,805	10,118	2000
93	9,209	9,954	8,139	8,259	9,502	8,623	9,732	10,440	11,944	13,309	14,459	11,808	9,699	10,665	12,203	10,517	2000
94	12,466	14,928	16,013	14,450	13,142	15,219	17,916	16,584	18,723	19,710	22,211	24,051	26,208	27,940	27,245	19,068	2000
95	10,785	10,960	9,156	8,644	7,435	7,880	9,404	10,974	10,552	8,603	10,196	10,617	11,651	13,422	10,789	10,020	2000
96	4,741	4,644	5,078	5,020	5,745	6,342	6,244	6,014	6,466	5,675	5,985	5,710	6,799	6,066	5,586	5,782	2000
97	4,180	4,865	4,155	3,922	3,764	4,491	4,086	4,109	3,586	3,268	3,378	2,945	3,318	3,417	3,529	3,797	2000
98	11,679	9,783	10,240	9,469	7,756	6,285	5,502	5,932	5,814	5,481	6,527	6,104	5,512	5,321	5,058	7,007	2000
99	9,445	9,576	8,181	9,320	10,806	9,301	10,764	9,033	7,922	6,654	7,484	6,840	7,592	8,172	9,080	8,636	2000
100	12,681	10,966	12,760	12,155	12,826	12,587	14,205	15,651	18,603	17,420	18,038	14,991	13,498	15,956	13,539	14,483	2000

## H Apêndice - Cenários com 15 máquinas e variação de até 50%

#	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$	$p_9$	$p_{10}$	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$	$p_{14}$	$p_{15}$	$p_{eq}$	$U$
1	6,700	8,854	6,775	10,014	8,687	11,165	15,872	9,161	7,792	5,223	5,634	3,803	2,182	1,900	2,584	7,265	2000
2	6,551	4,883	6,360	8,139	5,594	7,837	9,617	6,243	7,538	7,741	9,464	7,572	11,101	8,941	6,561	7,685	2000
3	8,575	7,517	5,183	4,721	5,320	5,505	3,933	2,563	1,829	2,721	1,786	1,978	2,528	2,489	2,839	3,841	2000
4	8,167	11,003	10,491	13,554	12,658	10,998	7,375	8,148	5,125	5,763	8,596	9,009	10,000	7,416	4,658	9,039	2000
5	10,309	12,846	11,305	7,339	7,351	10,804	14,264	18,094	16,127	23,549	12,032	13,571	16,600	17,232	17,321	13,924	2000
6	5,439	5,919	5,698	8,025	11,105	7,583	8,167	7,651	7,017	8,550	8,812	10,570	13,276	9,986	11,871	8,644	2000
7	12,576	7,895	7,438	6,924	9,790	7,584	5,569	6,323	5,937	7,098	10,151	7,679	6,029	6,065	4,871	7,372	2000
8	8,945	8,004	10,210	8,025	4,732	5,187	6,756	7,739	5,429	6,331	4,057	5,648	5,764	7,305	7,762	6,681	2000
9	8,256	10,191	11,944	8,794	5,366	2,860	2,215	1,479	1,982	1,387	1,470	1,694	1,327	1,789	1,156	4,086	2000
10	7,911	9,187	9,339	7,656	9,894	11,511	16,081	20,412	21,308	27,354	33,691	34,241	48,393	31,392	28,145	21,321	2000
11	12,833	9,244	12,374	7,185	6,314	4,621	3,789	2,148	1,789	1,549	1,509	1,115	1,117	0,704	0,929	4,310	2000
12	7,593	5,879	5,520	7,495	9,189	13,168	8,296	11,596	15,730	19,490	16,725	19,684	17,170	13,971	11,868	12,403	2000
13	9,213	9,459	10,463	10,378	10,849	15,905	21,136	17,856	15,057	18,516	20,033	21,639	20,784	30,150	24,191	17,066	2000
14	8,202	12,198	14,503	16,521	22,460	16,499	19,146	13,455	14,626	18,505	19,756	13,380	18,717	14,703	11,474	16,022	2000
15	14,536	7,956	8,026	7,248	10,272	12,536	9,229	10,555	8,366	9,846	12,545	15,500	15,045	11,130	14,891	10,926	2000
16	6,482	8,025	8,078	10,717	5,693	2,893	1,637	1,808	2,425	2,981	3,167	4,657	6,839	3,741	4,739	4,877	2000
17	8,768	6,049	5,344	2,970	2,888	1,509	1,377	0,723	0,969	1,094	0,818	1,108	1,598	2,193	2,084	2,433	2000
18	1,147	0,784	1,062	1,039	1,148	0,772	0,762	0,985	0,942	1,262	0,992	1,215	1,158	0,771	0,448	0,978	2000
19	11,664	13,194	11,675	14,965	21,042	17,921	23,625	18,294	24,646	21,548	20,602	10,929	5,523	3,600	4,953	15,419	2000
20	6,878	3,674	5,049	2,779	2,089	2,746	3,172	4,030	2,606	2,398	1,657	1,284	0,680	0,869	1,086	2,644	2000
21	14,271	15,156	20,718	21,106	11,733	16,910	19,925	13,238	7,259	6,917	6,507	8,975	9,905	10,972	10,143	12,966	2000
22	9,547	12,650	17,234	21,215	18,810	11,119	10,904	15,534	12,722	6,444	5,312	3,536	2,263	2,289	1,384	10,393	2000
23	8,199	8,761	6,539	5,239	4,745	2,528	2,957	3,513	3,809	3,329	3,424	4,396	5,816	3,583	3,143	4,594	2000
24	11,779	12,896	11,993	17,401	24,926	13,356	12,268	6,837	7,254	9,509	5,011	4,164	5,406	6,479	7,859	10,523	2000
25	6,920	8,376	5,601	6,121	5,525	2,905	3,961	2,273	2,218	2,947	1,579	1,892	2,474	2,257	2,830	3,786	2000
26	17,046	22,161	25,138	31,947	38,880	19,482	20,805	25,574	27,976	20,431	16,795	16,462	22,062	11,991	15,380	22,566	2000
27	9,668	9,376	9,886	12,127	16,643	12,561	9,289	13,092	16,660	22,578	28,745	29,173	15,109	13,308	13,747	15,732	2000
28	6,880	9,175	8,944	10,784	6,098	5,593	3,167	4,385	2,597	3,583	5,167	6,520	4,653	3,218	1,940	5,592	2000
29	10,252	13,525	18,949	26,399	33,058	47,076	29,257	30,462	38,681	41,905	45,939	24,143	35,336	34,369	43,880	31,869	2000
30	10,109	14,754	16,625	13,039	15,747	23,127	14,687	13,727	6,935	7,346	4,857	3,094	3,361	3,253	2,489	10,489	2000
31	6,259	3,308	3,941	3,298	2,783	2,100	1,601	1,147	0,747	0,795	0,722	0,849	0,520	0,367	0,447	1,824	2000
32	8,049	11,009	12,539	7,539	10,056	10,362	8,597	10,593	6,309	5,008	6,451	8,821	6,969	6,128	5,163	8,356	2000
33	12,147	7,471	7,232	5,619	3,048	4,254	4,076	5,115	6,502	7,581	4,692	3,780	2,156	2,898	3,315	5,154	2000
34	9,504	6,750	8,689	8,829	5,929	6,348	4,565	5,451	4,791	6,761	9,127	7,646	4,168	6,143	5,742	6,630	2000
35	9,094	7,317	3,810	5,500	3,796	4,863	5,644	7,351	8,481	10,746	12,264	10,122	5,186	3,444	2,283	6,729	2000
36	5,969	7,114	4,680	3,351	3,142	2,376	2,155	1,696	1,491	2,110	2,441	3,376	2,598	3,231	2,111	3,129	2000
37	10,148	12,344	18,078	22,920	22,631	28,454	23,928	22,460	18,243	23,626	35,198	38,666	45,003	52,086	54,677	28,289	2000
38	6,541	7,294	10,607	11,458	12,781	6,581	8,867	12,644	9,509	9,565	8,290	7,266	8,639	9,730	10,170	9,399	2000
39	10,085	10,808	9,058	10,562	8,757	7,206	7,141	10,170	11,170	14,374	15,502	11,951	13,745	10,580	7,410	10,698	2000
40	9,280	9,771	9,307	13,688	20,468	25,226	24,470	36,444	37,903	19,284	13,050	6,531	7,250	6,280	3,196	16,851	2000
41	6,575	9,112	5,257	5,621	7,746	8,011	10,220	15,138	9,672	14,121	18,345	14,820	19,005	27,924	21,641	12,793	2000
42	2,942	2,498	2,669	2,201	2,529	2,168	3,209	2,149	1,423	1,962	2,515	1,308	0,975	0,507	0,288	1,981	2000
43	6,784	6,127	5,336	5,975	3,532	4,986	4,326	4,350	4,039	5,923	5,074	4,960	5,002	4,650	3,817	4,970	2000
44	10,149	11,943	10,612	5,445	3,541	3,482	3,664	5,344	2,688	3,115	1,859	1,863	2,353	2,764	3,330	4,672	2000
45	14,193	14,227	9,189	8,358	6,374	7,673	9,431	8,371	7,450	7,625	9,556	13,963	17,913	15,173	15,506	10,725	2000
46	8,391	11,977	12,817	16,686	9,831	7,911	10,462	13,781	17,791	14,126	15,585	12,695	14,305	20,153	28,183	14,029	2000
47	6,011	8,361	4,484	6,446	7,648	8,005	6,455	6,014	4,370	5,131	5,915	7,847	6,402	8,497	9,759	6,676	2000
48	5,080	6,982	5,193	4,269	4,346	3,121	3,686	5,151	6,485	4,268	4,874	4,312	2,893	4,136	4,573	4,610	2000
49	6,007	5,331	3,360	2,968	4,038	4,735	3,403	3,692	4,267	6,275	6,744	5,224	3,376	3,034	1,694	4,307	2000
50	7,305	8,712	12,626	10,543	11,329	14,508	19,850	20,310	19,306	27,868	39,055	26,146	27,145	37,178	46,321	21,528	2000
51	14,256	10,567	11,138	9,746	11,282	15,291	22,888	25,917	12,989	6,895	8,047	7,016	8,619	10,704	6,187	12,237	2000
52	7,357	5,831	4,411	2,792	3,280	3,397	4,761	4,553	5,020	5,885	6,198	3,274	1,845	1,243	1,342	4,060	2000
53	6,424	8,841	8,028	6,737	4,372	6,545	5,631	3,317	3,518	1,922	2,400	3,051	1,699	2,025	2,801	4,478	2000
54	9,148	6,364	5,718	3,859	4,086	5,714	5,205	5,298	2,838	4,075	4,880	2,610	2,051	1,102	0,891	4,201	2000
55	8,400	11,612	9,687	11,410	16,515	10,389	11,195	13,416	12,001	16,523	14,469	19,039	27,023	33,173	23,880	15,899	2000
56	5,688	3,304	1,818	2,229	1,967	1,409	1,609	2,031	1,661	1,533	1,692	1,326	1,463	0,867	1,000	1,875	2000
57	9,722	10,906	12,471	8,240	7,941	9,272	10										

68	13,618	8,836	5,576	4,842	5,152	2,627	3,004	3,420	2,604	2,628	2,311	2,400	2,842	2,286	2,278	4,034	2000
69	10,638	5,670	6,050	8,649	10,187	8,190	5,930	6,605	7,493	7,730	7,120	8,195	10,589	12,328	11,798	8,282	2000
70	13,695	12,390	13,038	8,875	5,470	4,444	4,497	2,495	3,571	1,865	2,655	1,826	2,007	1,991	1,346	5,189	2000
71	9,749	5,415	7,597	10,487	12,515	9,800	11,536	12,966	14,386	12,860	9,218	11,752	8,304	10,115	13,018	10,595	2000
72	3,113	3,995	3,453	4,955	2,684	3,731	3,036	3,595	2,811	1,951	1,001	1,132	1,369	0,887	0,861	2,613	2000
73	6,573	4,326	2,608	1,969	2,651	2,994	2,622	3,270	4,537	5,654	3,753	2,630	1,657	1,948	2,100	3,211	2000
74	7,504	6,708	4,954	5,034	3,046	4,172	5,967	5,315	6,011	4,979	4,709	6,084	6,443	5,595	6,110	5,416	2000
75	9,915	11,068	8,654	8,104	8,903	8,173	11,062	8,926	10,620	13,920	20,043	26,727	20,284	13,870	16,444	13,110	2000
76	8,132	9,682	10,833	15,411	19,043	12,607	9,455	13,564	9,140	11,083	6,069	7,297	5,462	7,533	3,909	10,229	2000
77	13,373	12,903	15,109	7,657	10,573	13,410	7,260	10,677	11,477	12,808	12,618	11,246	11,209	7,817	6,968	11,067	2000
78	11,621	13,845	14,360	12,739	11,550	7,189	5,147	7,389	3,891	3,537	2,419	2,579	3,863	3,690	4,964	7,178	2000
79	6,141	7,669	9,526	8,371	11,431	17,069	24,901	18,385	14,850	10,564	8,820	5,597	3,816	2,263	2,345	10,536	2000
80	8,905	7,306	9,536	8,902	6,624	6,159	5,949	3,553	4,053	5,099	7,160	7,664	5,565	3,580	5,149	6,298	2000
81	9,342	12,856	8,915	11,223	13,789	12,600	11,652	7,887	8,794	4,454	2,433	3,091	3,503	2,024	1,122	7,747	2000
82	5,839	4,157	2,388	2,372	1,833	1,082	0,820	0,914	0,486	0,351	0,271	0,231	0,296	0,244	0,144	1,317	2000
83	9,468	12,337	17,556	14,422	10,519	11,048	7,529	7,367	5,847	6,995	10,019	10,820	11,420	12,596	16,073	10,803	2000
84	12,901	18,511	23,072	33,402	38,784	32,195	39,559	49,937	52,531	36,910	35,602	35,437	40,552	21,355	12,104	33,596	2000
85	5,532	2,797	1,492	0,952	1,397	0,883	1,210	1,255	1,509	1,871	2,208	2,799	2,987	1,812	1,165	1,894	2000
86	9,648	5,610	4,079	3,724	2,753	2,230	1,257	0,749	0,908	1,040	0,890	0,555	0,352	0,204	0,149	2,089	2000
87	11,413	8,787	10,867	12,740	17,472	12,316	9,952	9,640	9,364	6,400	4,493	4,304	4,964	5,298	7,071	8,989	2000
88	6,804	3,592	4,864	6,030	6,350	7,246	7,577	3,934	5,309	6,623	9,668	5,007	6,939	5,370	7,190	6,108	2000
89	4,146	2,323	2,856	2,439	1,486	2,046	2,684	3,119	1,714	1,517	1,168	0,864	0,751	0,640	0,891	1,866	2000
90	11,517	12,456	8,110	9,481	8,193	10,530	7,650	6,087	6,741	5,079	3,265	4,452	4,097	5,513	5,649	7,160	2000
91	7,946	10,103	11,085	14,265	19,878	25,543	35,679	25,171	34,196	46,489	51,748	76,290	112,527	144,109	201,116	50,830	2000
92	6,851	9,255	7,769	8,196	11,225	15,095	22,009	25,213	19,655	26,428	32,012	39,059	40,301	35,133	46,593	22,719	2000
93	6,179	6,787	4,553	2,978	4,258	4,999	3,569	3,998	5,941	4,368	3,477	2,103	2,898	4,164	5,394	4,277	2000
94	11,190	13,234	18,883	14,900	12,272	12,383	18,516	22,827	29,720	18,921	22,153	15,862	22,097	15,184	20,163	18,045	2000
95	7,686	6,056	6,532	3,342	2,911	3,096	2,798	4,175	3,449	3,602	5,382	3,521	4,282	5,274	4,865	4,335	2000
96	8,252	6,016	7,186	8,091	8,338	7,982	5,092	5,764	8,370	9,327	13,202	14,534	15,803	19,909	24,282	10,420	2000
97	6,984	8,388	11,939	9,680	8,222	5,156	4,502	6,153	8,585	5,646	3,233	3,845	3,608	1,979	2,864	6,133	2000
98	11,403	6,230	9,060	7,889	10,441	14,294	15,286	19,239	13,760	17,208	14,979	12,280	6,253	3,606	2,037	11,232	2000
99	4,533	2,544	1,774	1,494	0,915	0,801	1,162	0,758	0,593	0,414	0,239	0,177	0,204	0,305	0,184	0,981	2000
100	10,362	14,117	17,496	19,618	10,670	7,380	9,759	10,216	12,288	10,213	10,585	7,336	5,597	3,358	4,061	10,417	2000

# I Apêndice - Cenários com 15 máquinas e variação de até 70%

#	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$	$p_9$	$p_{10}$	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$	$p_{14}$	$p_{15}$	$p_{eq}$	$U$
1	6,700	9,716	6,523	10,889	8,869	12,411	19,736	8,053	6,369	3,429	3,807	2,075	0,837	0,686	1,032	6,948	2000
2	6,551	4,215	6,000	8,350	4,694	7,329	9,659	4,914	6,341	6,580	8,630	6,215	10,270	7,473	4,688	6,878	2000
3	8,575	7,094	4,011	3,510	4,133	4,334	2,601	1,332	0,798	1,343	0,697	0,802	1,114	1,090	1,305	2,700	2000
4	8,167	12,137	11,347	15,986	14,507	11,844	6,382	7,319	3,517	4,130	6,972	7,441	8,587	5,480	2,626	8,646	2000
5	10,309	13,861	11,534	5,870	5,884	9,753	14,126	19,437	16,479	27,097	8,544	10,074	13,222	13,927	14,028	12,998	2000
6	5,439	6,111	5,791	9,103	13,995	7,781	8,620	7,857	6,946	9,070	9,460	12,103	16,442	10,737	13,575	9,537	2000
7	12,576	6,022	5,534	4,999	7,896	5,405	3,395	4,039	3,693	4,704	7,537	4,967	3,473	3,502	2,537	5,194	2000
8	8,945	7,628	10,572	7,404	3,150	3,574	5,087	6,124	3,565	4,395	2,185	3,384	3,481	4,784	5,203	5,172	2000
9	8,256	10,965	13,606	8,582	3,898	1,349	0,923	0,494	0,729	0,423	0,458	0,556	0,387	0,576	0,291	3,373	2000
10	7,911	9,697	9,921	7,418	10,454	12,846	19,986	27,521	29,213	40,818	54,056	55,291	87,284	44,354	37,931	30,841	2000
11	12,833	7,808	11,509	4,752	3,946	2,465	1,843	0,725	0,555	0,451	0,435	0,276	0,277	0,134	0,194	2,978	2000
12	7,593	5,193	4,749	7,127	9,382	15,070	7,264	11,310	16,956	22,631	18,136	22,628	18,582	13,735	10,840	12,999	2000
13	9,213	9,557	10,978	10,853	11,542	19,072	27,853	21,802	17,017	22,489	25,068	27,881	26,338	42,954	31,069	20,967	2000
14	8,202	13,796	17,446	20,844	31,335	19,692	24,115	14,081	15,796	21,660	23,710	12,997	20,255	14,173	9,815	18,493	2000
15	14,536	5,324	5,390	4,659	7,380	9,657	6,091	7,316	5,192	6,478	8,964	11,921	11,431	7,267	10,705	7,835	2000
16	6,482	8,642	8,722	12,712	4,369	1,361	0,534	0,612	0,904	1,194	1,299	2,154	3,567	1,305	1,793	3,679	2000
17	8,768	4,961	4,151	1,569	1,508	0,500	0,439	0,147	0,217	0,256	0,166	0,248	0,402	0,612	0,569	1,417	2000
18	1,147	0,638	0,955	0,925	1,061	0,575	0,565	0,796	0,747	1,103	0,773	1,016	0,950	0,506	0,209	0,806	2000
19	11,664	13,806	11,580	16,149	25,330	20,071	29,015	19,849	29,498	24,307	22,813	7,818	2,404	1,232	1,880	16,475	2000
20	6,878	2,392	3,645	1,350	0,881	1,269	1,544	2,129	1,076	0,956	0,542	0,371	0,127	0,177	0,239	1,430	2000
21	14,271	15,510	23,479	24,094	9,114	14,744	18,424	9,767	3,591	3,354	3,076	4,709	5,392	6,205	5,549	10,812	2000
22	9,547	13,891	20,938	27,710	23,311	9,967	9,697	15,462	11,543	3,568	2,691	1,432	0,710	0,722	0,322	10,470	2000
23	8,199	8,986	5,795	4,182	3,630	1,256	1,555	1,964	2,195	1,808	1,880	2,627	3,815	1,765	1,462	3,306	2000
24	11,779	13,343	12,035	19,633	31,520	11,037	9,779	3,718	4,035	5,791	1,956	1,493	2,117	2,705	3,512	9,058	2000
25	6,920	8,958	4,803	5,427	4,687	1,575	2,377	0,959	0,927	1,354	0,474	0,606	0,867	0,760	1,030	2,696	2000
26	17,046	24,207	28,760	39,667	51,718	15,593	17,075	22,554	25,520	15,884	11,926	11,595	17,117	6,178	8,622	21,473	2000
27	9,668	9,259	9,965	13,127	19,970	13,114	8,332	13,108	18,109	27,115	37,484	38,265	12,439	10,363	10,842	17,207	2000
28	6,880	10,093	9,737	12,542	4,912	4,343	1,705	2,623	1,126	1,724	2,791	3,814	2,285	1,299	0,577	4,480	2000
29	10,252	14,834	23,162	35,911	48,593	77,440	36,403	38,503	53,047	59,236	67,219	22,569	37,217	35,792	49,659	41,420	2000
30	10,109	16,612	19,561	13,655	17,625	29,190	14,276	12,970	3,986	4,317	2,269	1,116	1,251	1,195	0,802	10,248	2000
31	6,259	2,128	2,698	2,082	1,627	1,068	0,713	0,430	0,220	0,240	0,209	0,260	0,119	0,070	0,091	1,074	2000
32	8,049	12,192	14,564	6,433	9,440	9,842	7,495	9,931	4,309	3,065	4,301	6,513	4,599	3,822	2,979	7,287	2000
33	12,147	5,601	5,350	3,679	1,322	2,054	1,934	2,624	3,620	4,461	2,081	1,514	0,603	0,894	1,074	3,025	2000
34	9,504	5,649	7,920	8,099	4,374	4,807	2,917	3,709	3,081	4,855	7,234	5,591	2,031	3,378	3,069	4,995	2000
35	9,094	6,606	2,174	3,524	1,995	2,780	3,405	4,847	5,891	8,093	9,693	7,323	2,323	1,231	0,650	4,626	2000
36	5,969	7,571	3,945	2,377	2,169	1,429	1,243	0,873	0,725	1,147	1,399	2,149	1,455	1,951	1,004	2,280	2000
37	10,148	13,223	21,822	30,005	29,476	40,093	31,164	28,487	20,998	29,672	50,019	56,919	69,980	85,400	91,348	39,858	2000
38	6,541	7,596	12,426	13,821	16,055	5,152	7,657	12,223	7,980	8,046	6,544	5,412	6,843	8,053	8,563	8,954	2000
39	10,085	11,097	8,582	10,577	8,046	6,051	5,975	9,523	10,834	15,185	16,853	11,448	13,853	9,387	5,449	10,370	2000
40	9,280	9,968	9,306	15,438	26,144	34,653	33,199	55,942	59,078	18,450	10,099	3,037	3,505	2,849	0,890	20,482	2000
41	6,575	10,127	4,128	4,529	6,926	7,257	10,059	16,836	8,325	13,686	19,418	14,195	19,806	32,819	22,481	13,046	2000
42	2,942	2,321	2,543	1,919	2,319	1,856	3,104	1,668	0,879	1,345	1,876	0,615	0,396	0,130	0,051	1,605	2000
43	6,784	5,864	4,804	5,609	2,399	3,781	3,080	3,104	2,793	4,617	3,691	3,575	3,617	3,260	2,442	3,915	2000
44	10,149	12,661	10,686	3,402	1,737	1,697	1,821	2,990	0,910	1,112	0,484	0,485	0,663	0,825	1,061	3,220	2000
45	14,193	14,241	7,180	6,271	4,187	5,382	7,108	5,989	5,066	5,233	7,089	11,666	16,286	12,798	13,191	8,728	2000
46	8,391	13,412	14,729	20,954	8,901	6,468	9,388	13,558	19,081	13,578	15,541	11,506	13,548	21,302	33,185	14,482	2000
47	6,011	9,301	3,263	5,262	6,635	7,069	5,153	4,660	2,876	3,577	4,342	6,328	4,697	6,849	8,274	5,511	2000
48	5,080	7,742	4,965	3,728	3,822	2,314	2,900	4,513	6,150	3,206	3,843	3,222	1,738	2,783	3,194	3,933	2000
49	6,007	5,060	2,441	2,043	3,074	3,817	2,314	2,589	3,153	5,230	5,778	3,955	1,997	1,713	0,654	3,321	2000
50	7,305	9,275	15,109	11,620	12,833	17,875	27,090	27,970	26,034	42,197	65,912	35,410	37,304	56,607	76,097	30,495	2000
51	14,256	9,091	9,779	8,067	9,847	14,745	25,001	29,633	8,939	3,067	3,784	3,106	4,100	5,488	2,246	10,207	2000
52	7,357	5,220	3,441	2,082	2,186	3,415	3,206	3,667	4,551	4,889	1,661	0,646	0,351	0,390	2,919	2000	
53	6,424	9,808	8,545	6,621	3,367	5,710	4,593	1,951	2,116	0,772	1,041	1,436	0,545	0,691	1,062	3,638	2000
54	9,148	5,250	4,504	2,454	2,656	4,138	3,622	3,713	1,299	2,092	2,671	0,932	0,653	0,230	0,168	2,777	2000
55	8,400	12,897	9,904	12,371	20,120	9,671	10,722	13,700	11,677	17,837	14,733	21,247	33,721	44,465	27,027	17,913	2000
56	5,688	2,351	0,871	1,146	0,957	0,577	0,692	0,946	0,704	0,628	0,719	0,501	0,573	0,246	0,299	0,993	2000
57	9,722	11,379	13,665	7,175	6,811	8,409	9,352	11,434	14,870	6,320	8,165						

68	13,618	6,923	3,348	2,731	2,976	0,934	1,122	1,340	0,892	0,904	0,751	0,791	0,995	0,723	0,720	2,257	2000
69	10,638	3,683	4,029	6,452	8,058	5,846	3,587	4,158	4,941	5,160	4,590	5,561	7,835	9,636	9,056	5,956	2000
70	13,695	11,869	12,738	7,043	3,260	2,404	2,444	0,921	1,477	0,489	0,779	0,439	0,500	0,494	0,270	3,703	2000
71	9,749	3,681	5,757	8,823	11,212	7,807	9,744	11,434	13,187	11,229	6,777	9,385	5,530	7,219	10,120	8,694	2000
72	3,113	4,347	3,521	5,666	2,031	3,140	2,321	2,919	2,028	1,159	0,369	0,436	0,564	0,286	0,274	2,177	2000
73	6,573	3,427	1,521	0,999	1,483	1,752	1,447	1,948	3,005	4,040	2,139	1,243	0,599	0,746	0,827	2,003	2000
74	7,504	6,390	4,050	4,142	1,852	2,811	4,505	3,816	4,515	3,430	3,170	4,466	4,835	3,944	4,452	4,136	2000
75	9,915	11,529	8,008	7,296	8,304	7,351	10,989	8,019	10,150	14,566	23,535	34,523	22,872	12,747	16,058	13,777	2000
76	8,132	10,302	12,017	19,127	25,438	13,401	8,710	14,009	7,612	9,878	3,622	4,648	3,011	4,609	1,505	10,086	2000
77	13,373	12,715	15,759	4,877	7,477	10,286	3,682	6,108	6,749	7,845	7,682	6,513	6,483	3,737	3,169	7,727	2000
78	11,621	14,734	15,501	13,051	11,346	5,348	3,221	5,185	1,748	1,526	0,851	0,930	1,578	1,479	2,194	5,958	2000
79	6,141	8,280	11,086	9,204	13,915	23,523	38,633	24,479	17,890	10,661	8,197	4,004	2,220	0,955	1,003	12,616	2000
80	8,905	6,666	9,514	8,628	5,536	4,992	4,754	2,073	2,481	3,377	5,288	5,809	3,582	1,794	2,895	5,028	2000
81	9,342	14,261	8,140	11,091	14,641	12,873	11,518	6,308	7,323	2,263	0,825	1,138	1,350	0,552	0,208	6,933	2000
82	5,839	3,484	1,408	1,395	0,951	0,406	0,268	0,311	0,107	0,065	0,044	0,035	0,049	0,037	0,016	0,821	2000
83	9,468	13,484	21,469	16,104	10,002	10,706	5,932	5,754	4,092	5,217	8,375	9,313	10,036	11,483	15,920	10,333	2000
84	12,901	20,755	27,914	45,411	55,655	42,418	56,001	76,570	82,138	47,944	45,565	45,270	54,418	18,353	7,222	44,891	2000
85	5,532	1,703	0,590	0,291	0,481	0,233	0,354	0,372	0,478	0,639	0,800	1,100	1,204	0,541	0,270	0,835	2000
86	9,648	3,994	2,468	2,167	1,376	1,010	0,393	0,171	0,222	0,267	0,213	0,101	0,049	0,020	0,012	1,234	2000
87	11,413	7,737	10,301	12,787	19,436	11,406	8,340	7,974	7,654	4,262	2,484	2,338	2,840	3,108	4,564	7,761	2000
88	6,804	2,308	3,452	4,610	4,953	5,932	6,311	2,063	3,072	4,136	6,798	2,210	3,404	2,327	3,431	4,050	2000
89	4,146	1,594	2,106	1,676	0,759	1,160	1,666	2,044	0,755	0,633	0,429	0,273	0,223	0,177	0,274	1,122	2000
90	11,517	12,832	6,564	8,118	6,574	9,200	5,678	4,054	4,664	3,054	1,527	2,304	2,047	3,038	3,143	5,499	2000
91	7,946	10,966	12,459	17,463	27,083	37,888	58,937	34,636	52,022	78,203	90,588	150,735	250,973	349,586	543,193	103,365	2000
92	6,851	10,216	7,919	8,528	12,941	19,188	31,493	37,911	26,210	38,854	50,347	65,863	68,795	56,445	82,222	34,232	2000
93	6,179	7,030	3,791	1,955	3,132	3,895	2,335	2,728	4,585	2,885	2,061	0,921	1,409	2,271	3,211	3,121	2000
94	11,190	14,052	22,450	15,821	11,914	12,065	20,431	27,090	38,543	18,936	23,464	14,136	21,915	12,316	17,970	19,122	2000
95	7,686	5,404	5,998	1,897	1,555	1,693	1,465	2,475	1,873	1,989	3,365	1,736	2,262	2,996	2,670	2,849	2000
96	8,252	5,122	6,516	7,665	7,992	7,514	3,705	4,389	7,167	8,314	13,150	15,007	16,842	22,968	30,031	10,392	2000
97	6,984	8,950	14,254	10,477	8,268	3,952	3,250	4,919	7,641	3,979	1,598	2,021	1,847	0,680	1,106	5,420	2000
98	11,403	4,160	6,805	5,573	8,097	12,280	13,473	18,351	11,035	14,906	12,203	9,124	2,854	1,163	0,454	8,997	2000
99	4,533	1,749	1,008	0,785	0,359	0,297	0,484	0,248	0,172	0,099	0,040	0,025	0,030	0,051	0,023	0,545	2000
100	10,362	15,619	20,852	24,392	8,816	5,011	7,272	7,749	9,950	7,597	7,985	4,553	3,042	1,338	1,730	9,302	2000

## J Apêndice - Comparação dos *Makespan* dos cenários com 5 máquinas e variação de até 20%

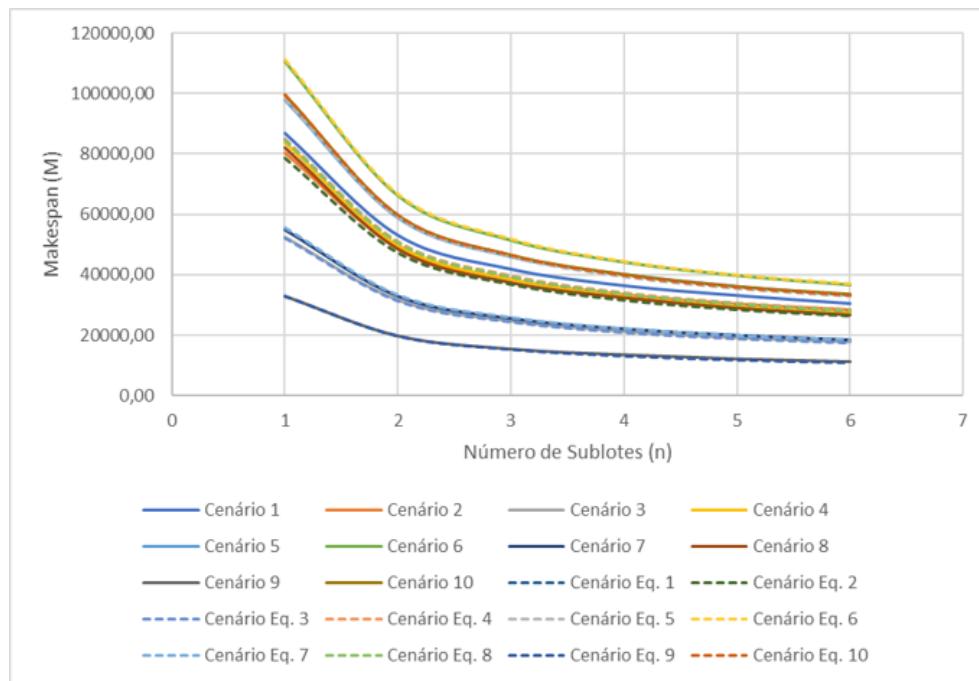


Figura 33: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 01 ao 10

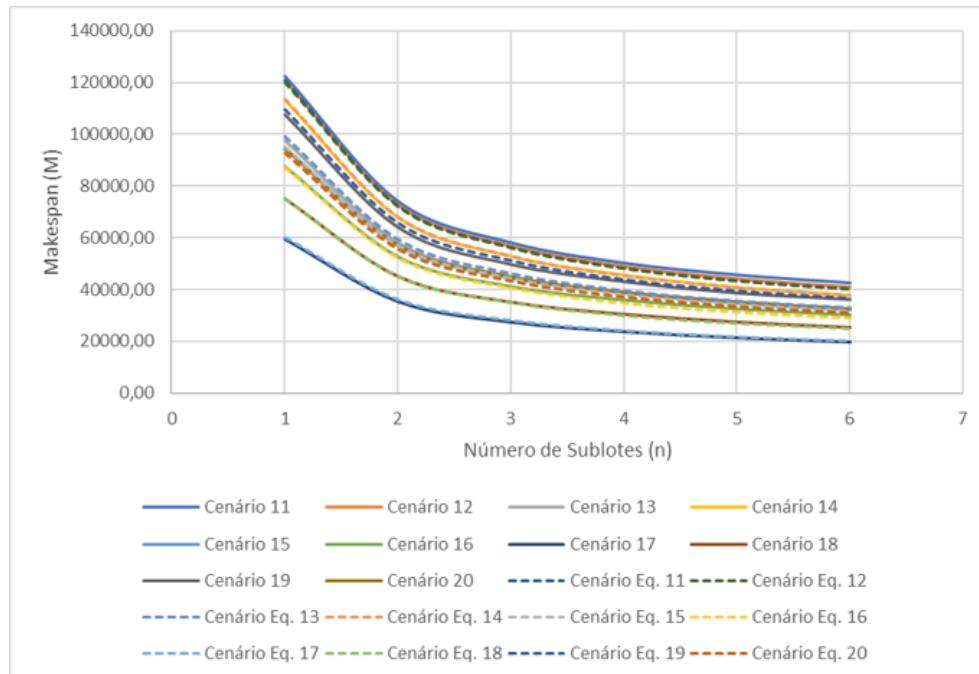


Figura 34: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 11 ao 20

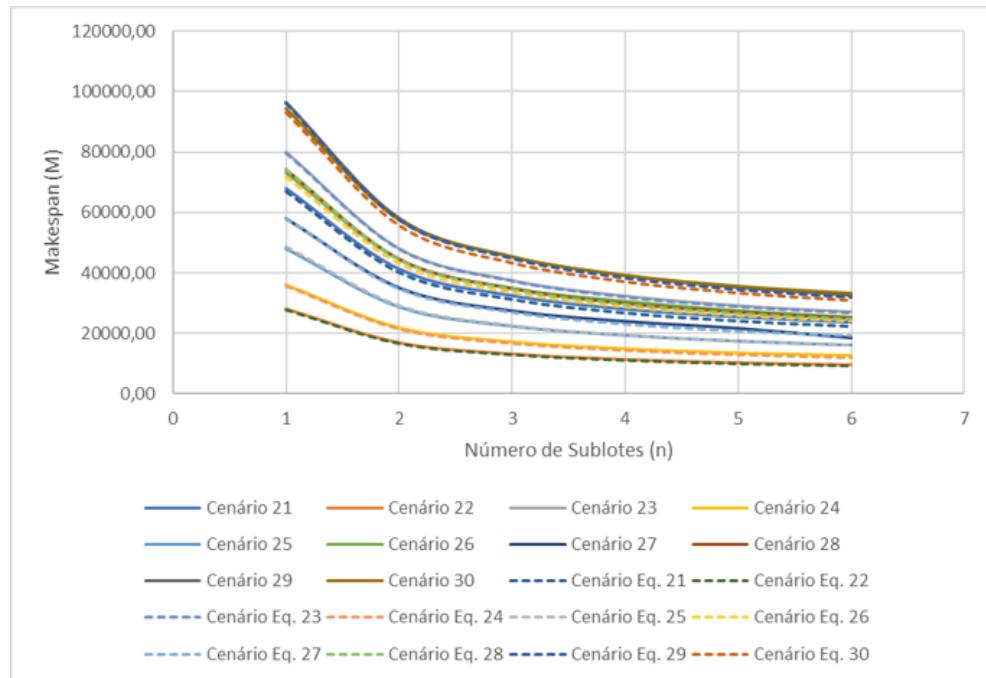


Figura 35: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 21 ao 30

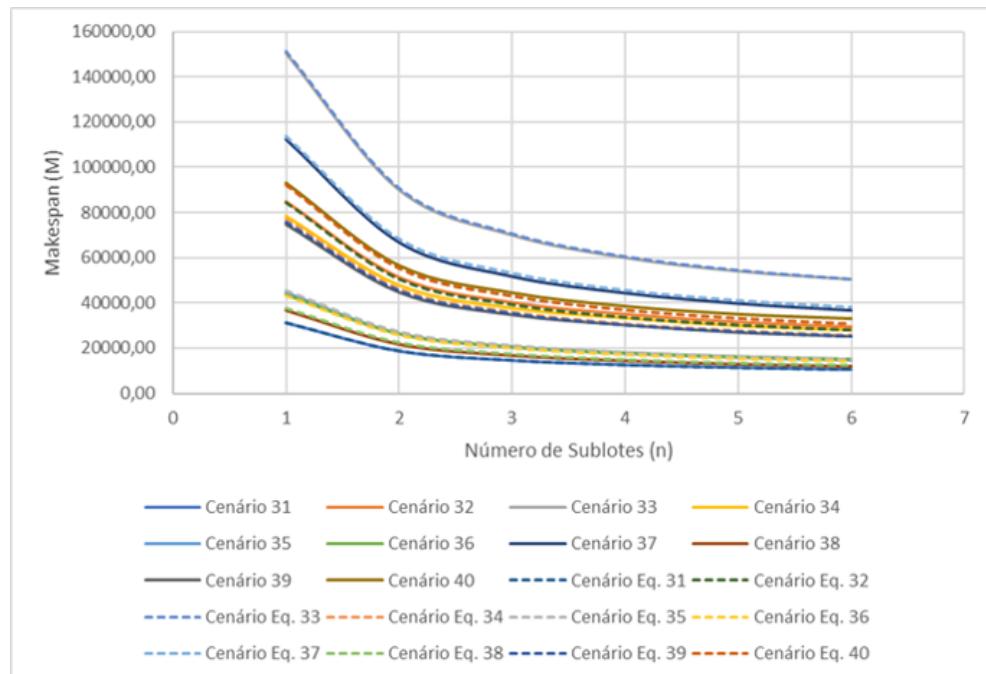


Figura 36: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 31 ao 40

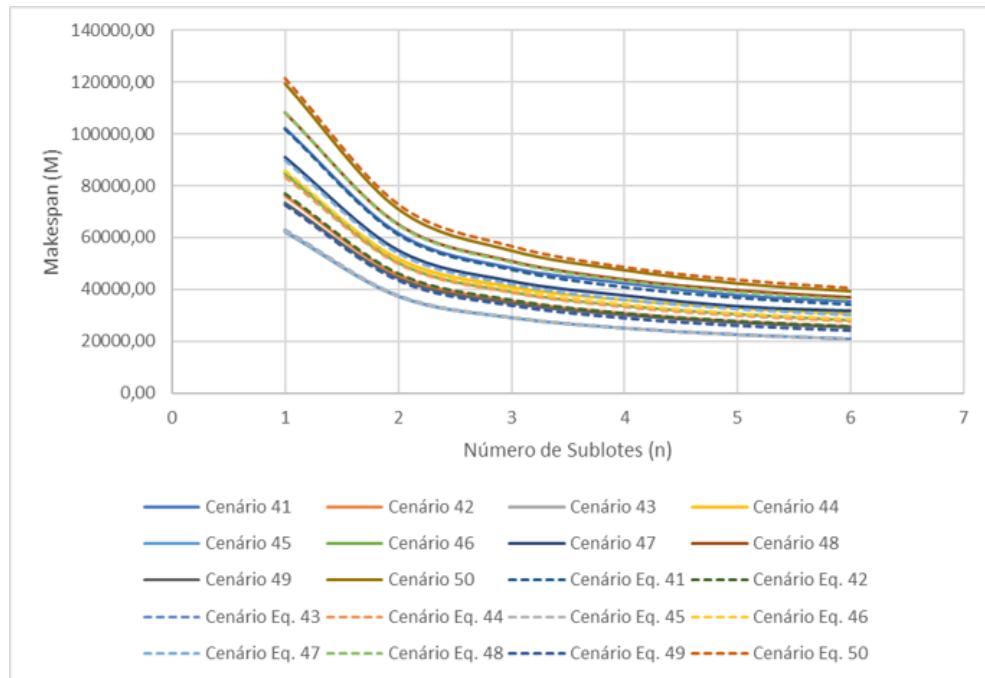


Figura 37: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 41 ao 50

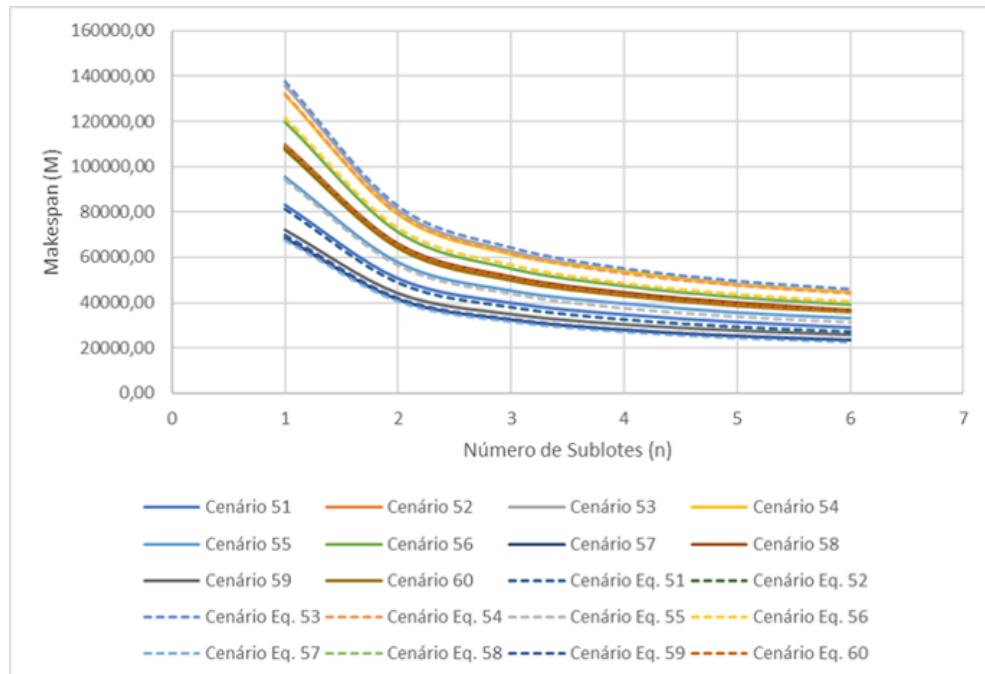


Figura 38: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 51 ao 60

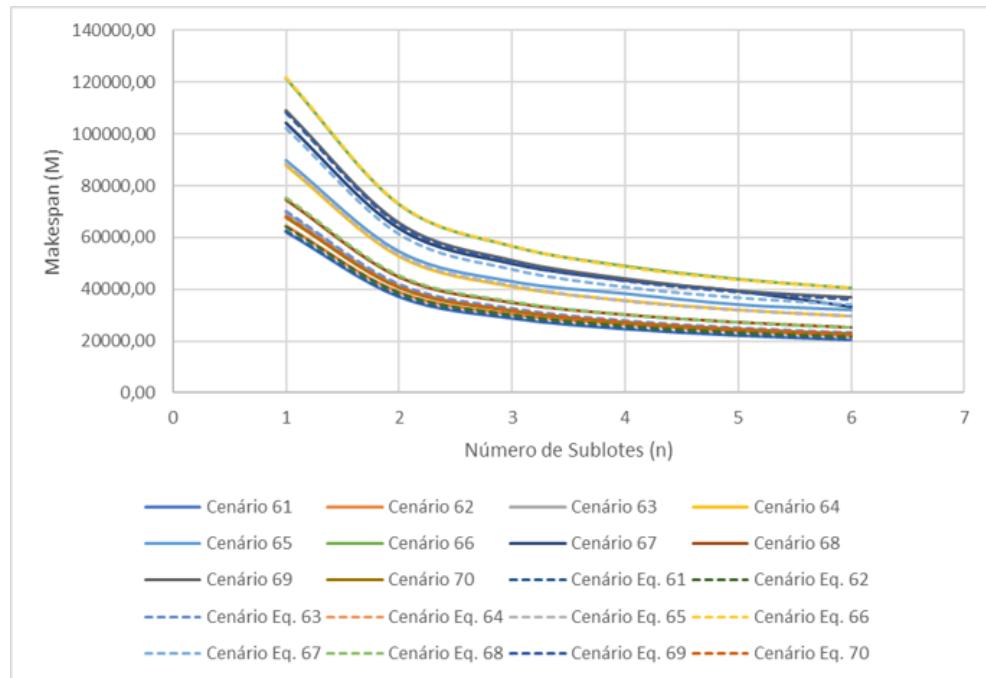


Figura 39: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 61 ao 70

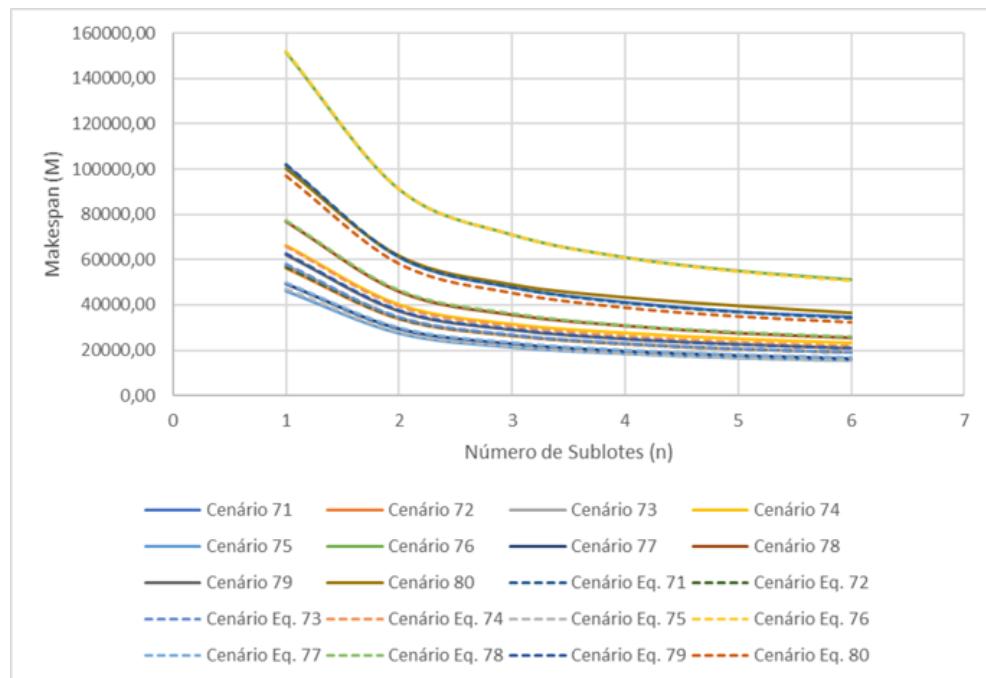


Figura 40: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 71 ao 80

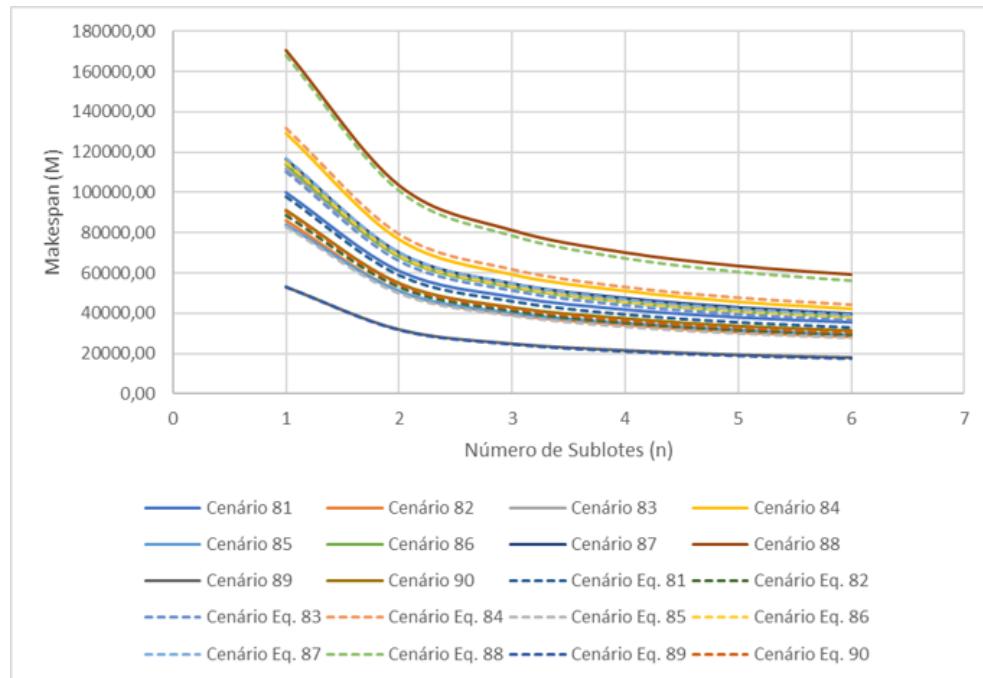


Figura 41: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 81 ao 90

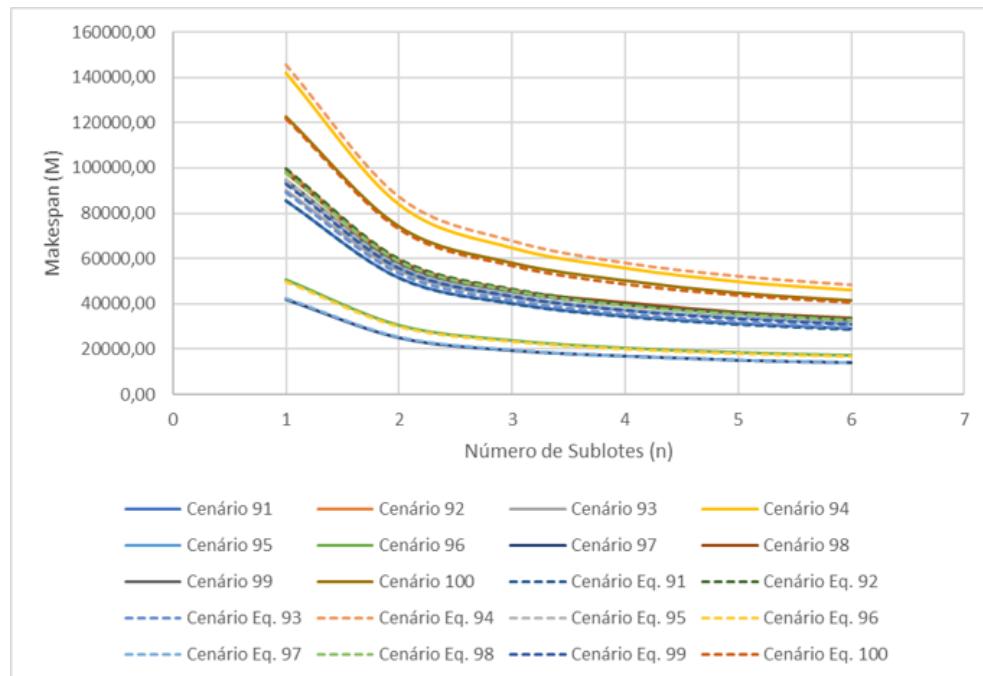


Figura 42: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 20% do 91 ao 100

## K Apêndice - Comparação dos *Makespan* dos cenários com 5 máquinas e variação de até 50%

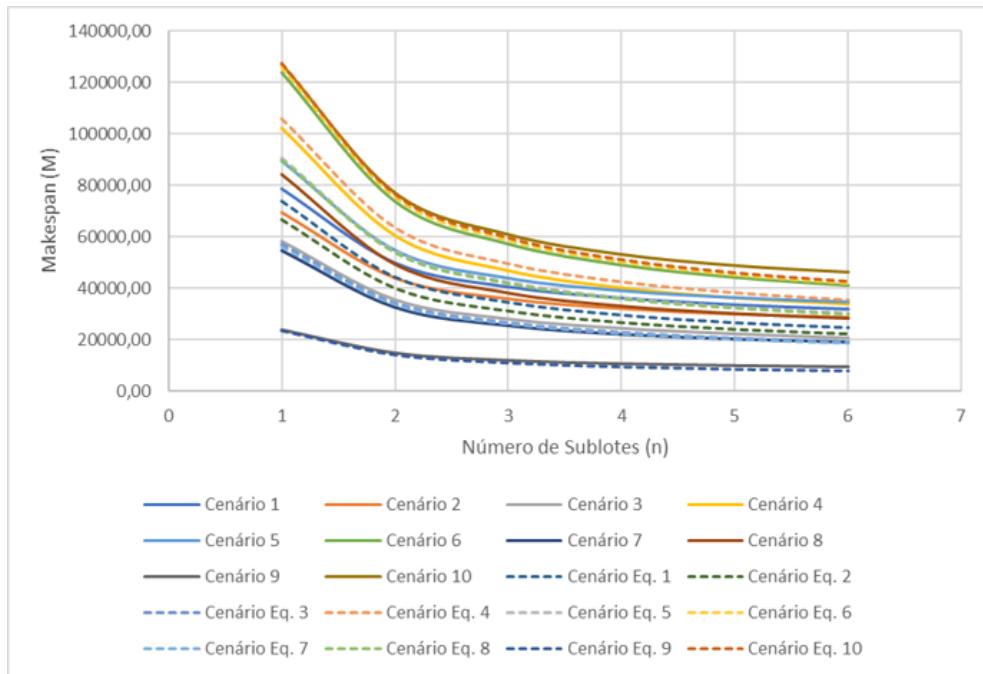


Figura 43: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 50% do 01 ao 10

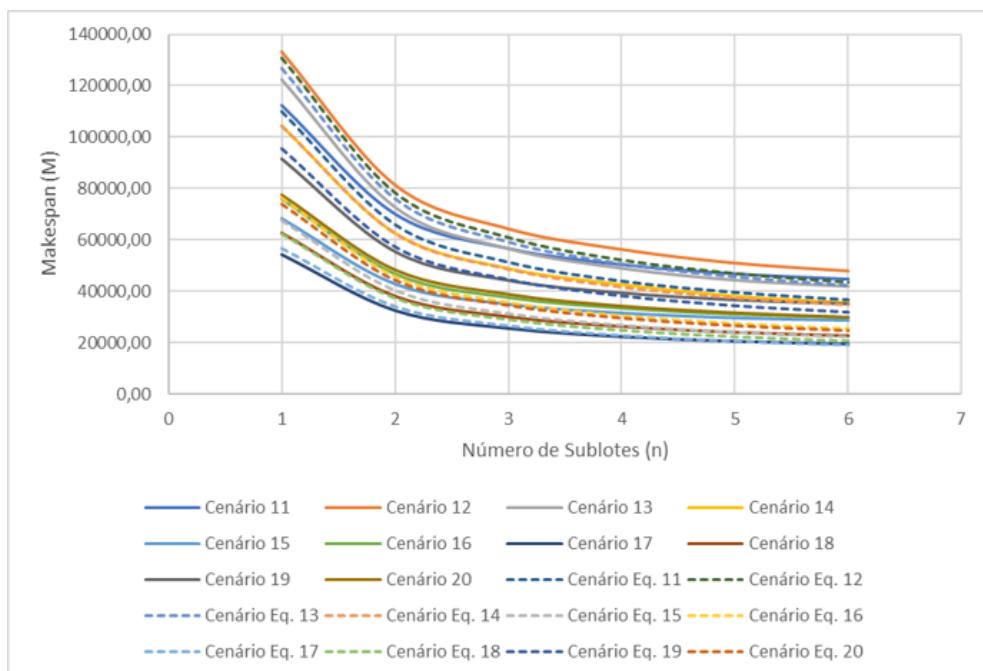


Figura 44: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 50% do 11 ao 20

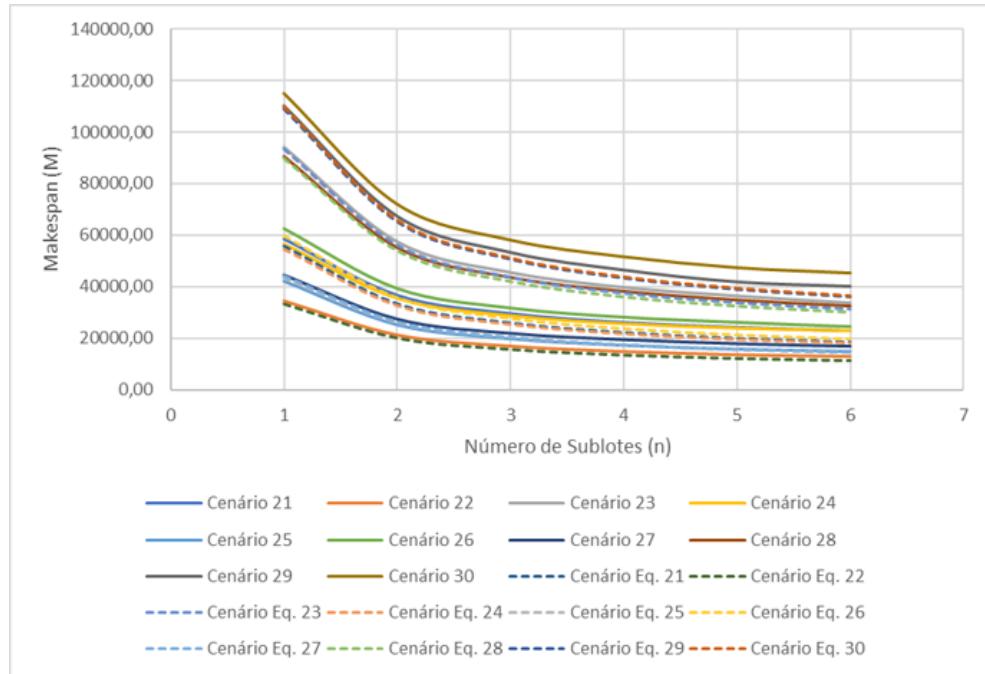


Figura 45: Makespan dos cenários 5 máquinas e 50% do 21 ao 30

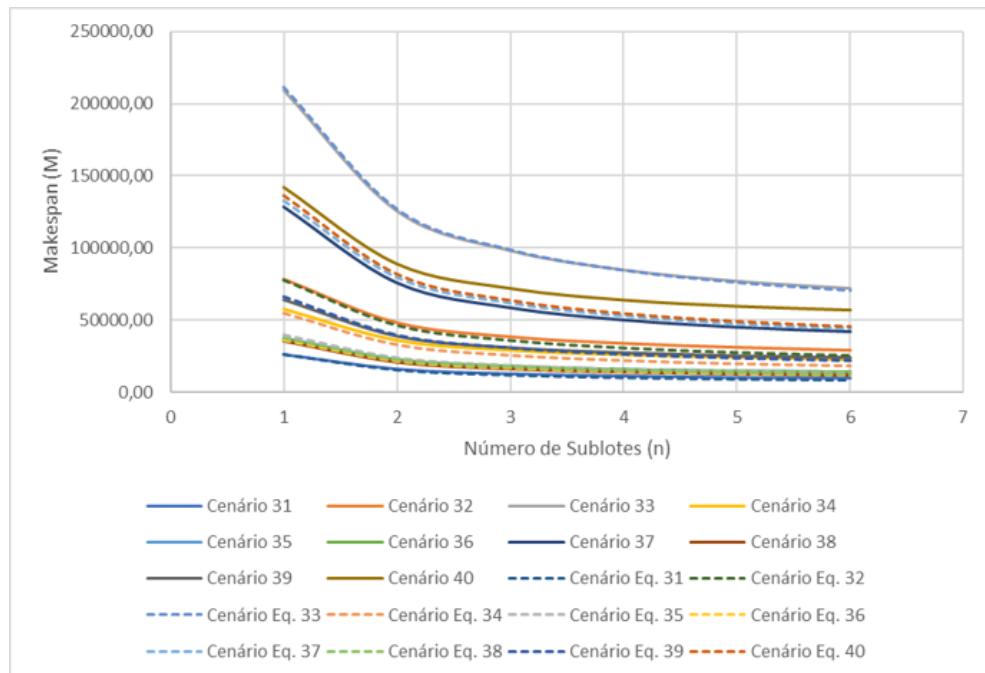


Figura 46: Makespan dos cenários 5 máquinas e 50% do 31 ao 40

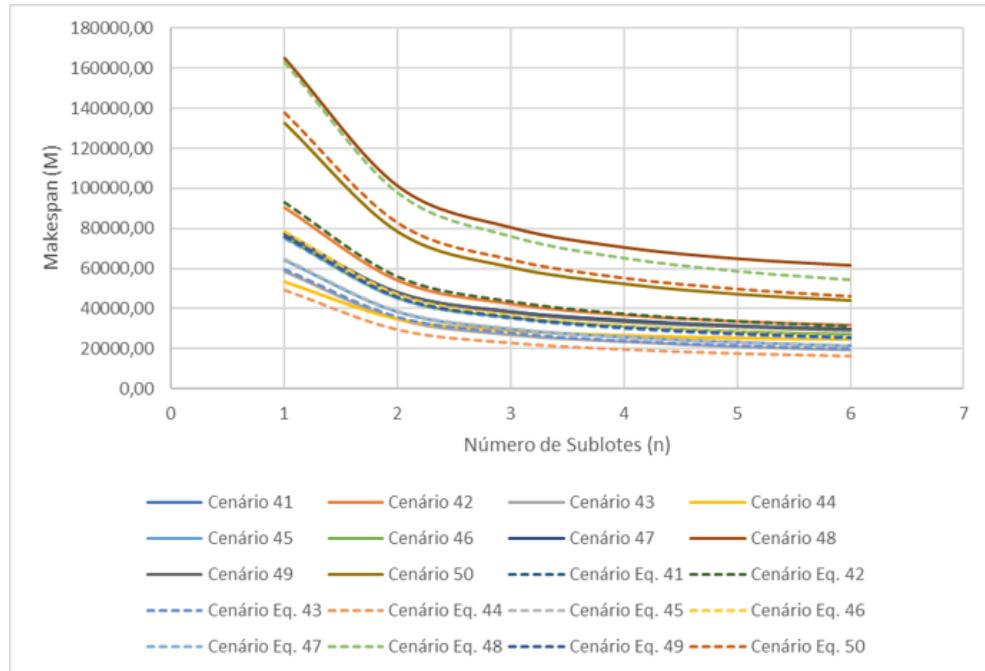


Figura 47: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 50% do 41 ao 50

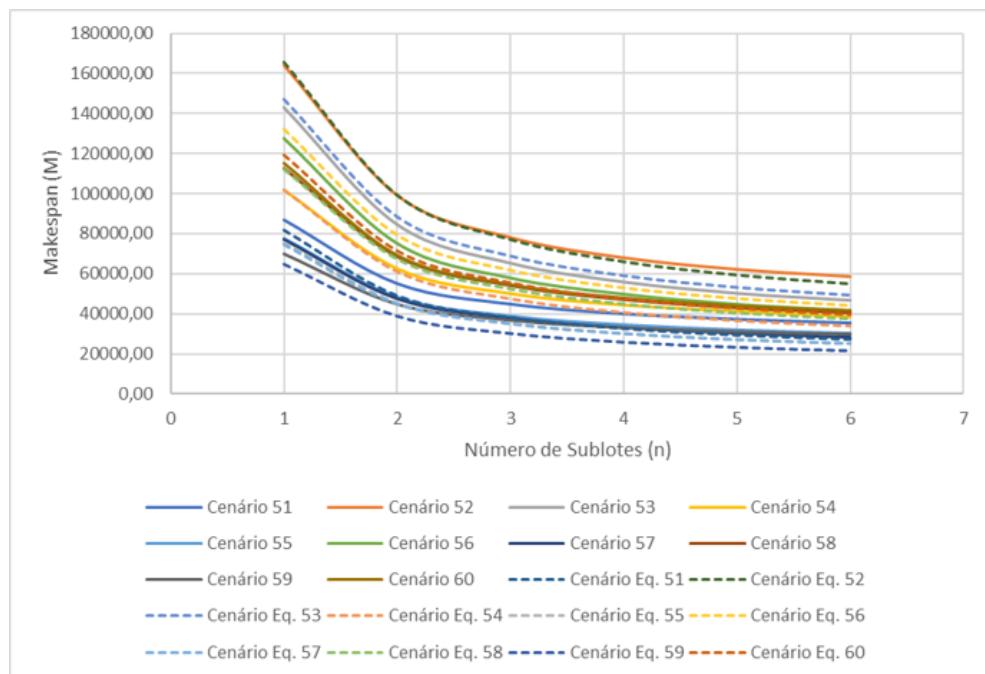


Figura 48: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 50% do 51 ao 60

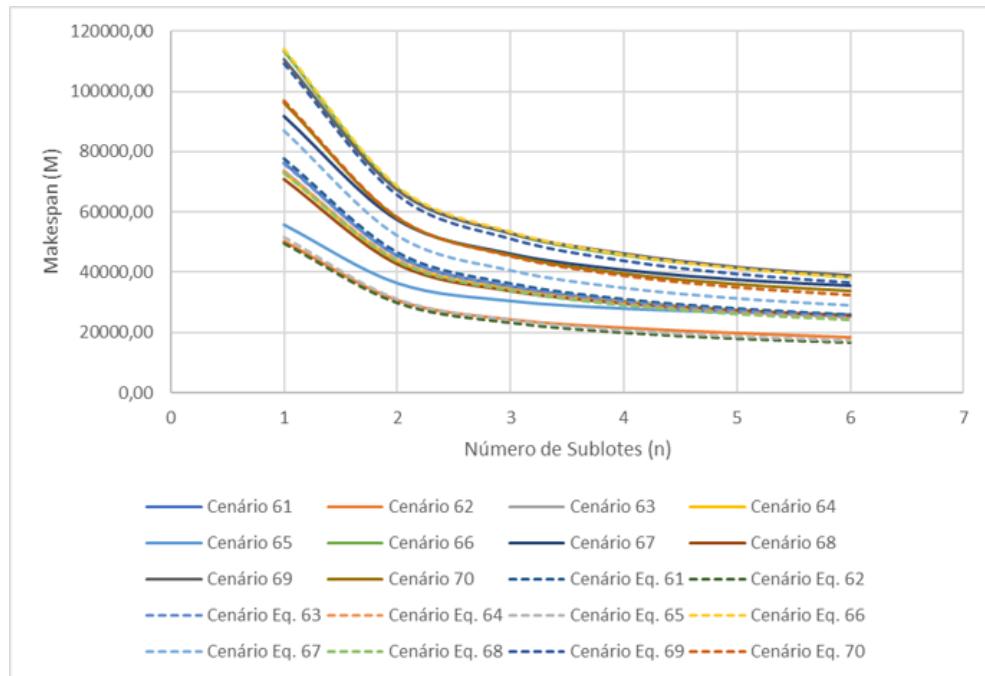


Figura 49: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 50% do 61 ao 70

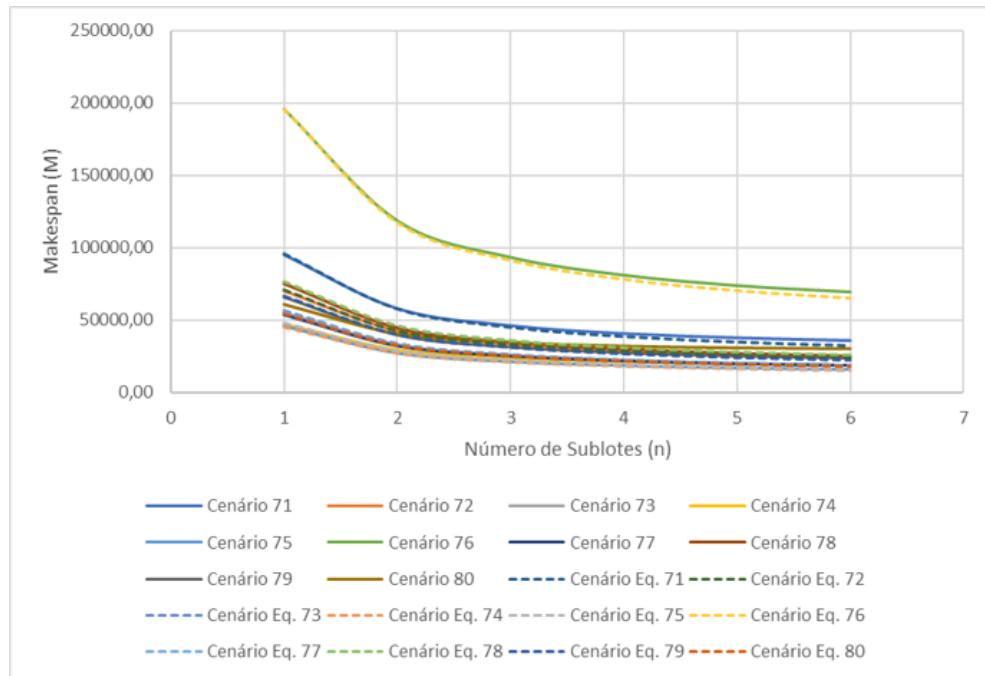


Figura 50: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 50% do 71 ao 80

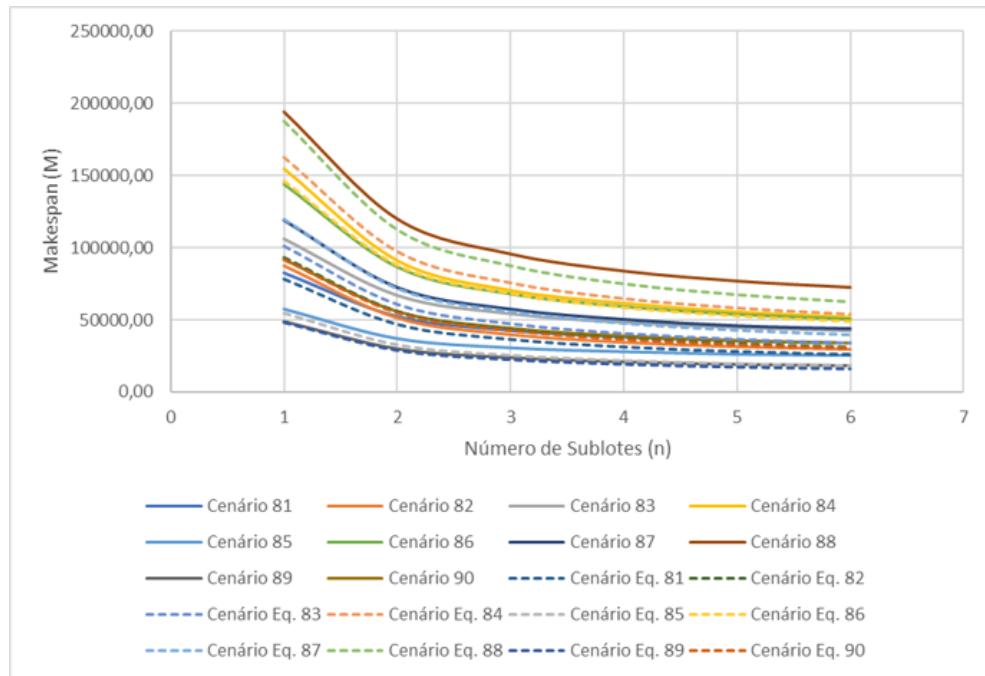


Figura 51: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 50% do 81 ao 90

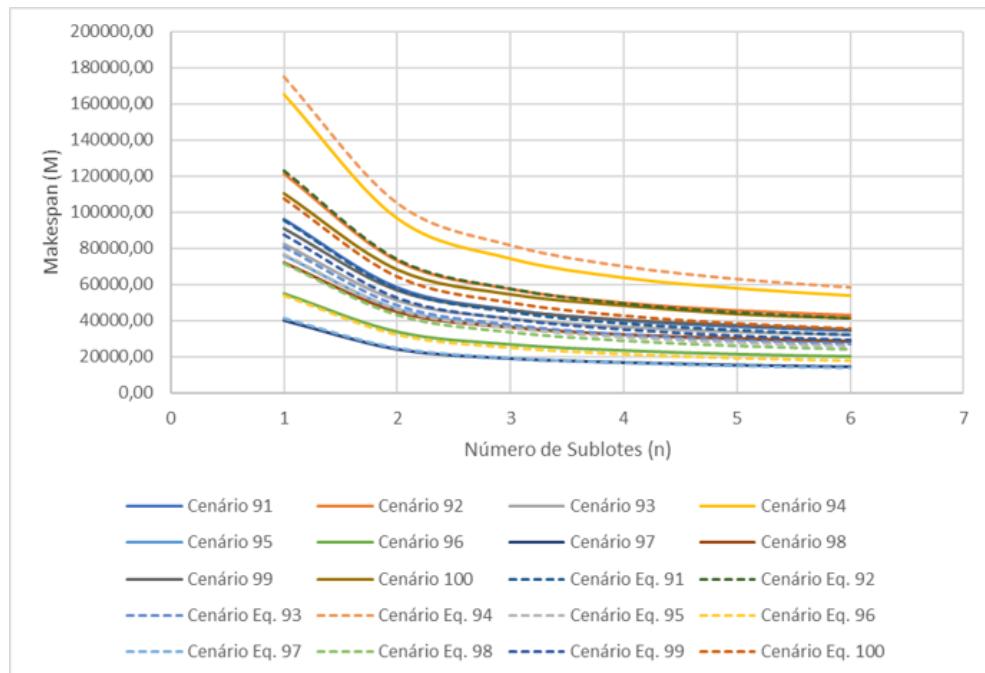


Figura 52: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 50% do 91 ao 100

## L Apêndice - Comparação dos *Makespan* dos cenários com 5 máquinas e variação de até 70%

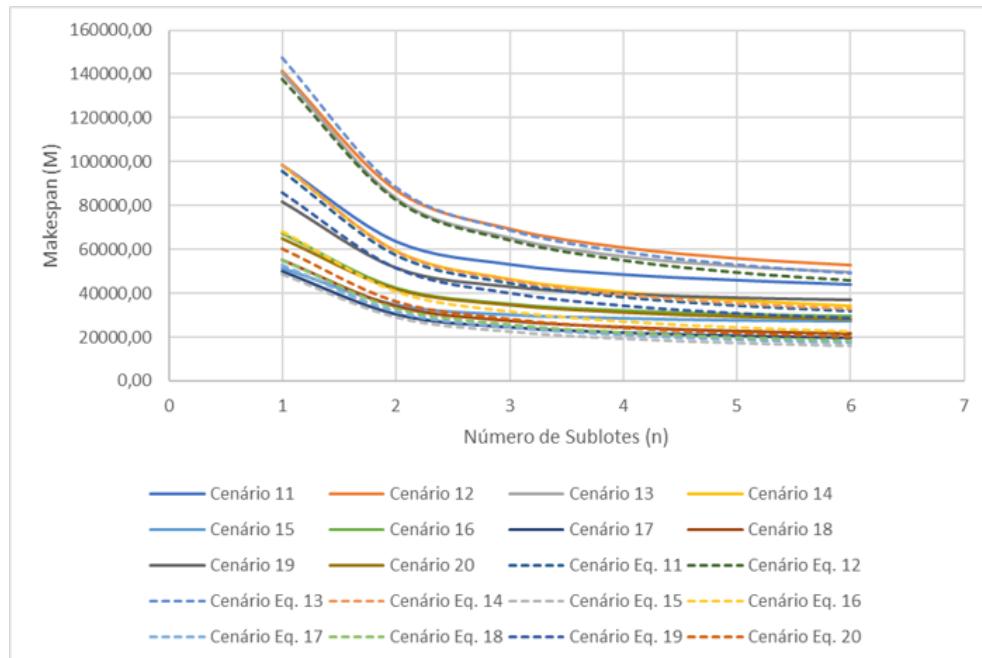


Figura 53: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 70% do 01 ao 10

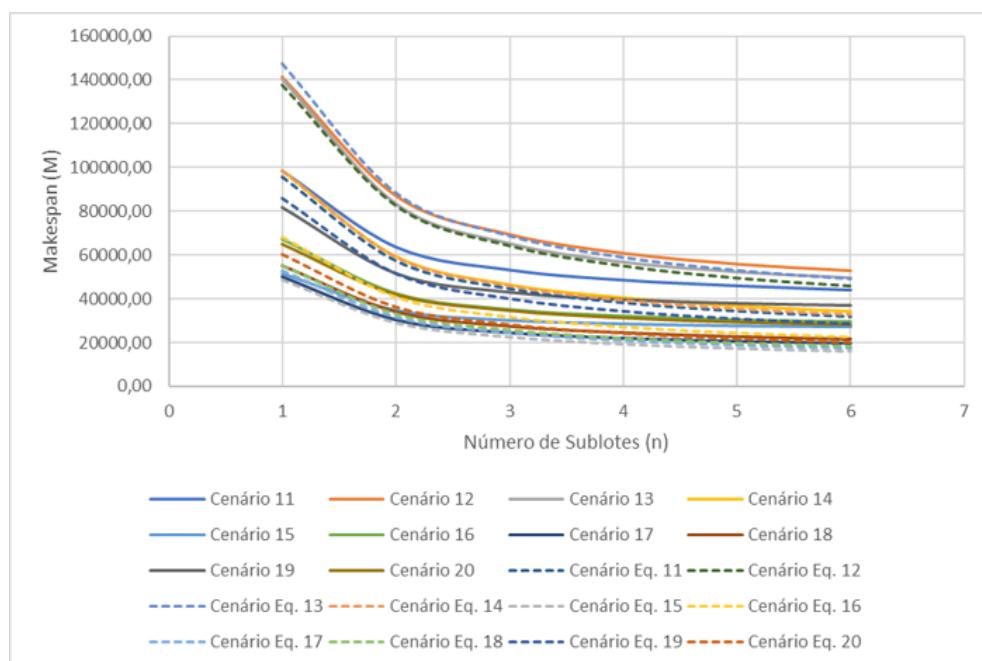


Figura 54: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 70% do 11 ao 20

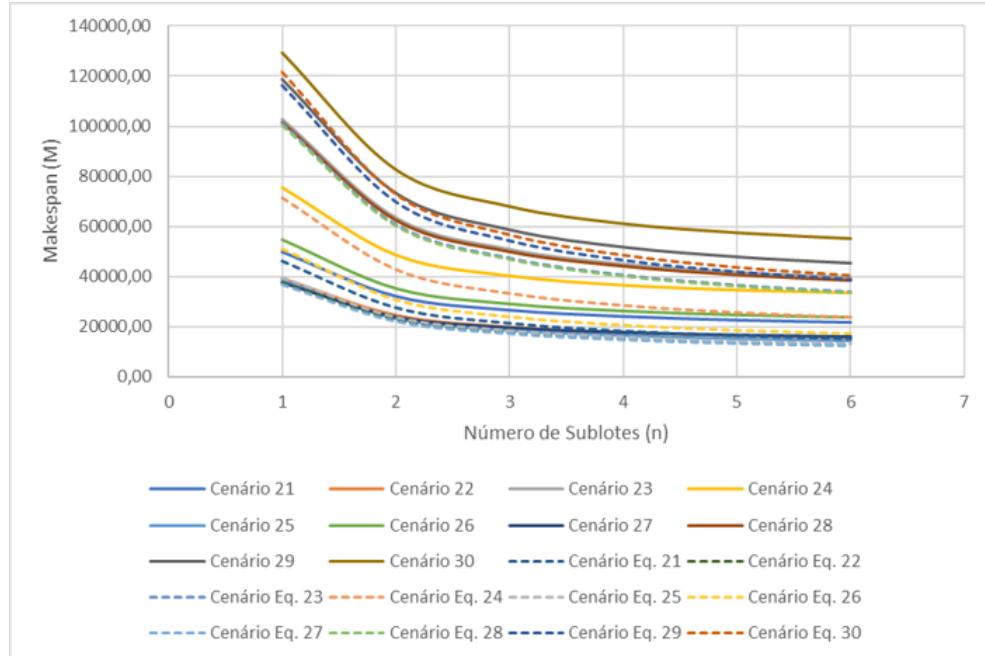


Figura 55: Makespan dos cenários 5 máquinas e 70% do 21 ao 30

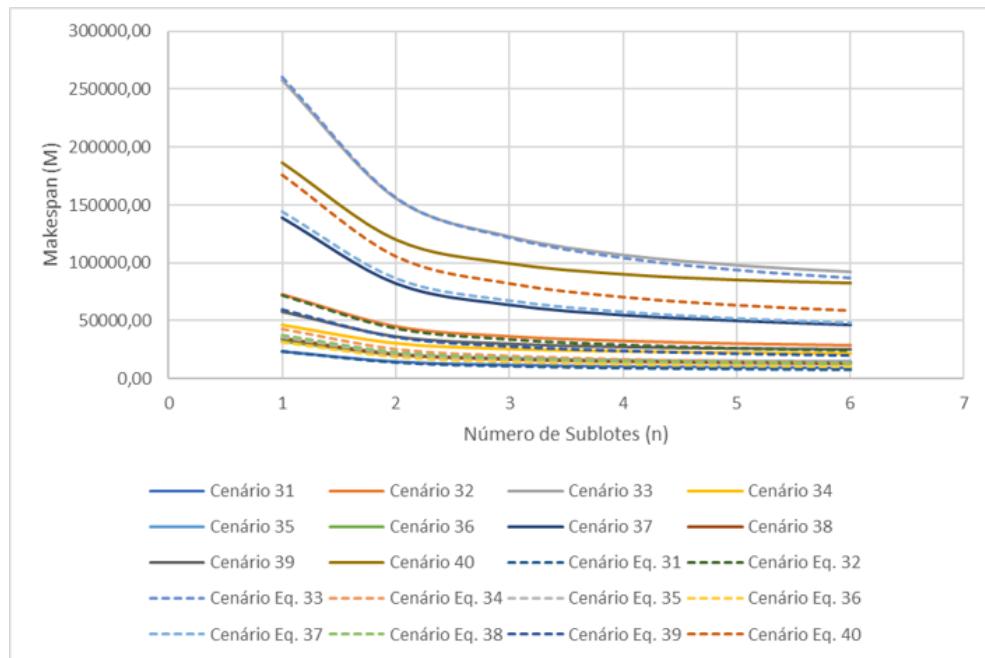


Figura 56: Makespan dos cenários 5 máquinas e 70% do 31 ao 40

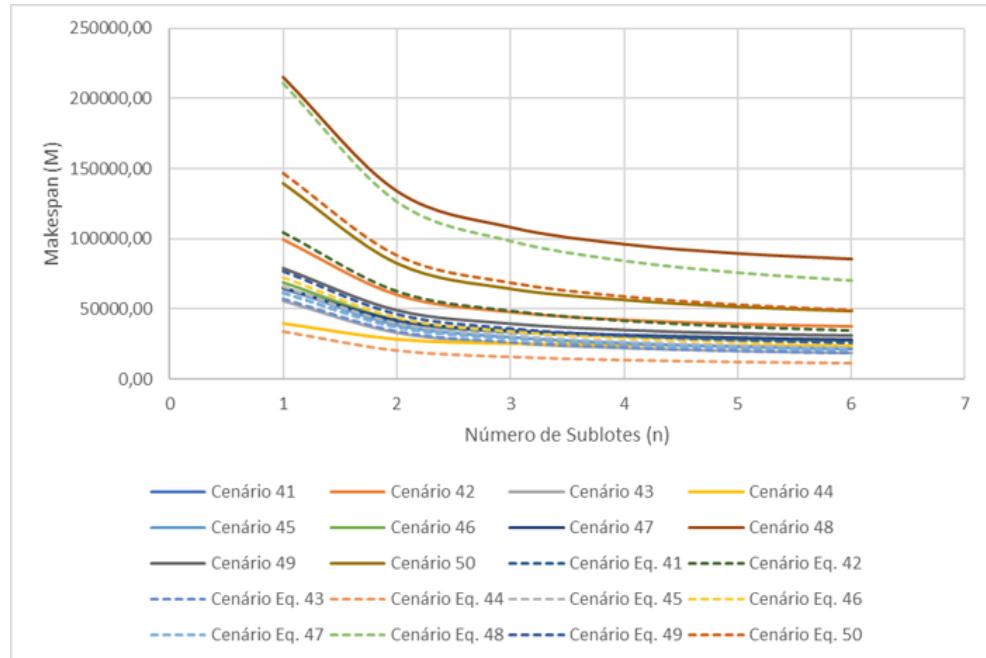


Figura 57: Makespan dos cenários 5 máquinas e 70% do 41 ao 50

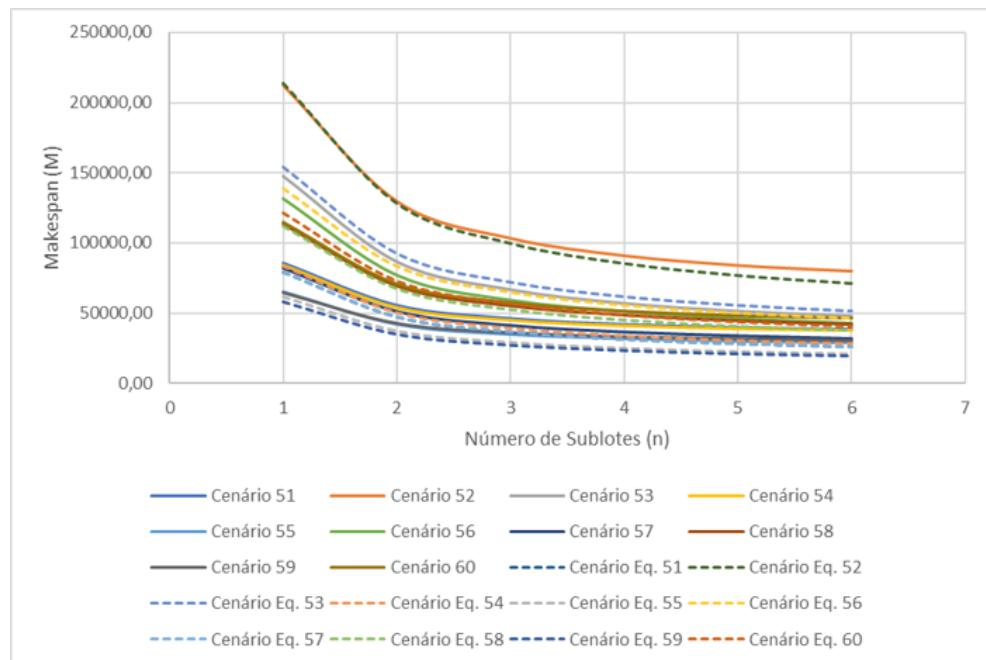


Figura 58: Makespan dos cenários 5 máquinas e 70% do 51 ao 60

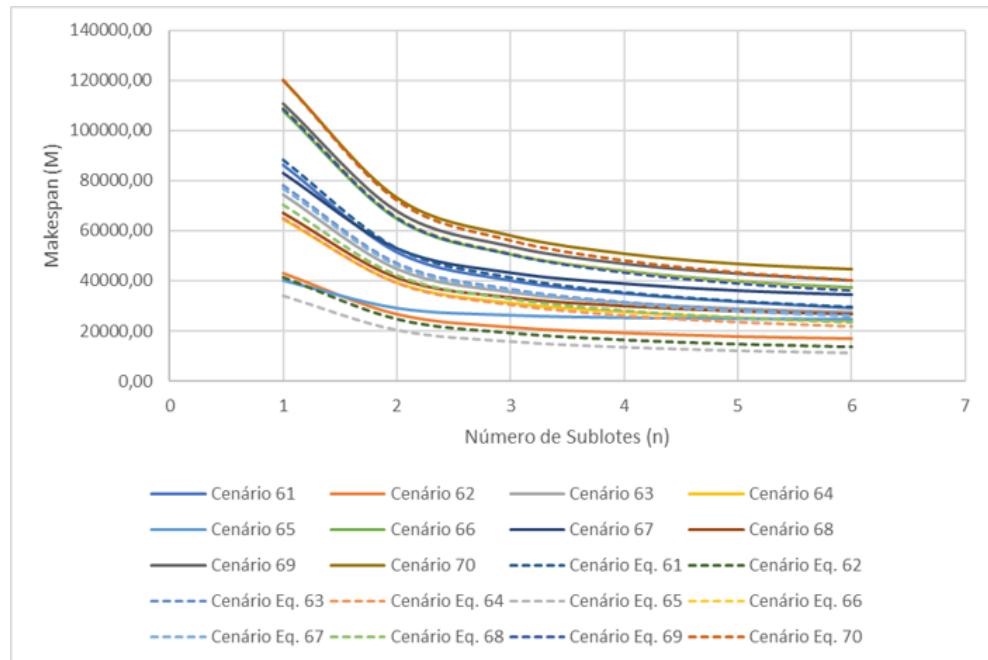


Figura 59: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 70% do 61 ao 70

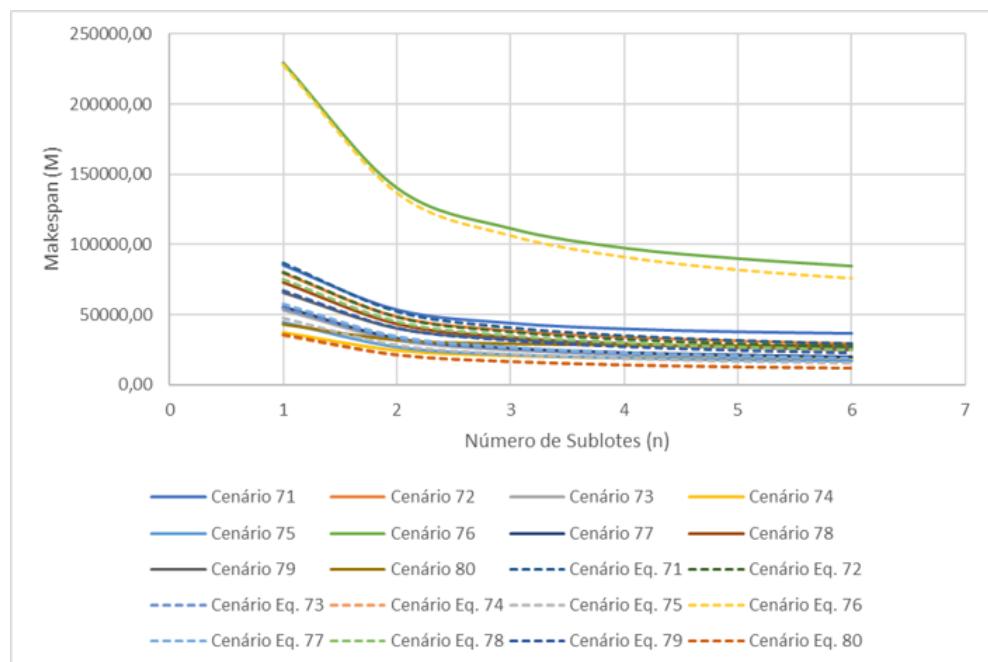


Figura 60: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 70% do 71 ao 80

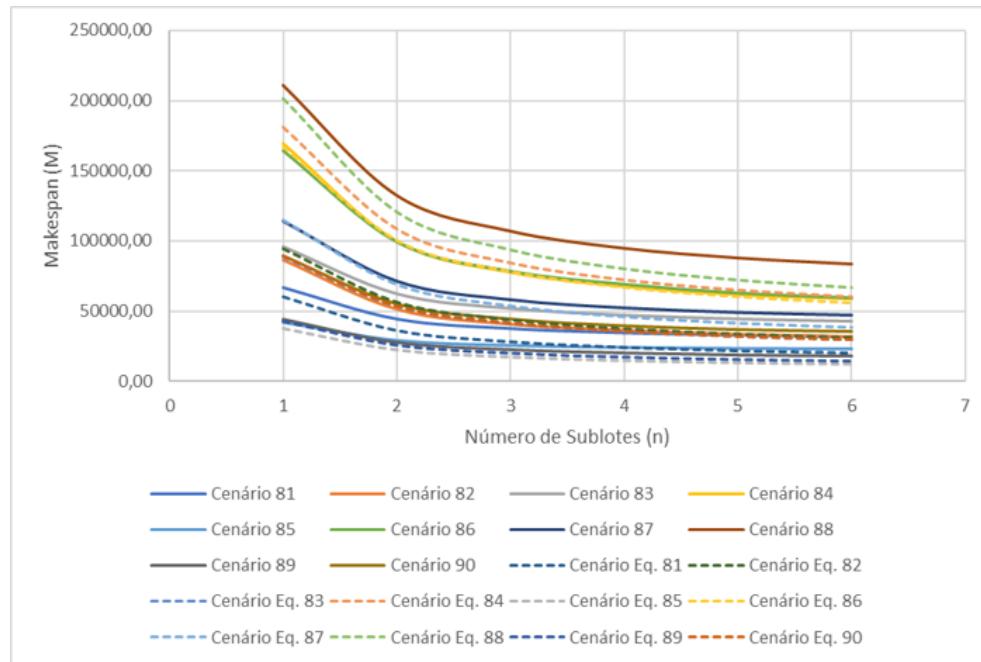


Figura 61: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 70% do 81 ao 90

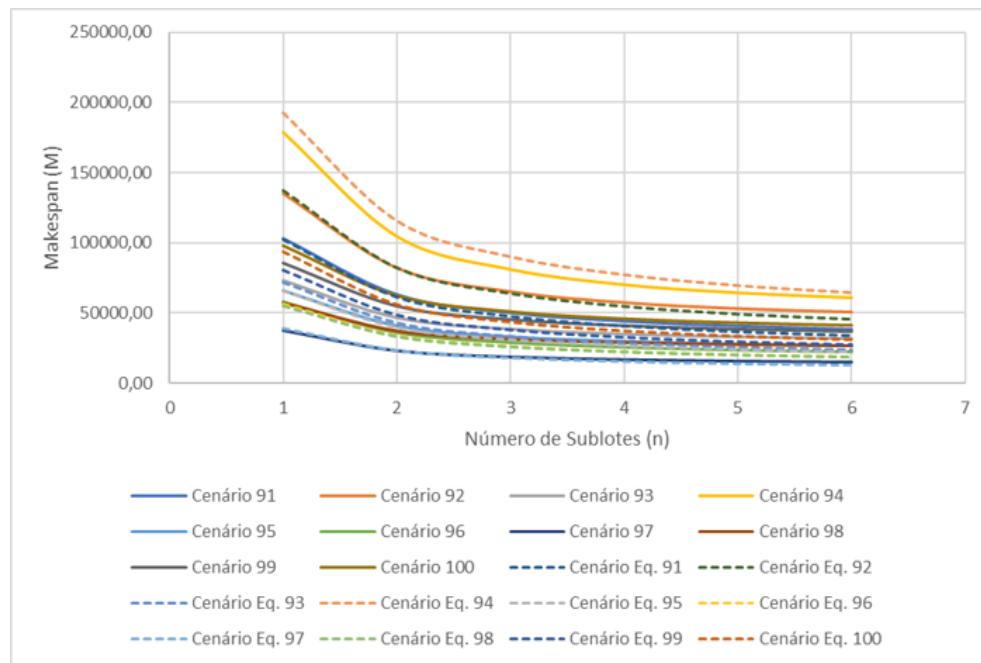


Figura 62: *Makespan* dos cenários 5 máquinas e 70% do 91 ao 100

## M Apêndice - Comparação dos *Makespan* dos cenários com 10 máquinas e variação de até 20%

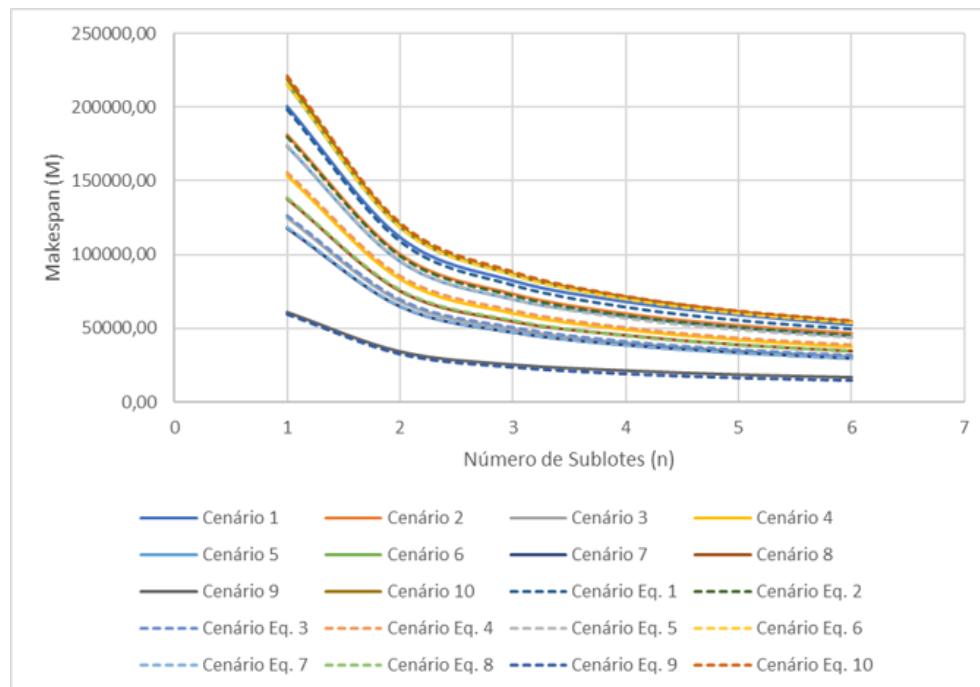


Figura 63: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 01 ao 10

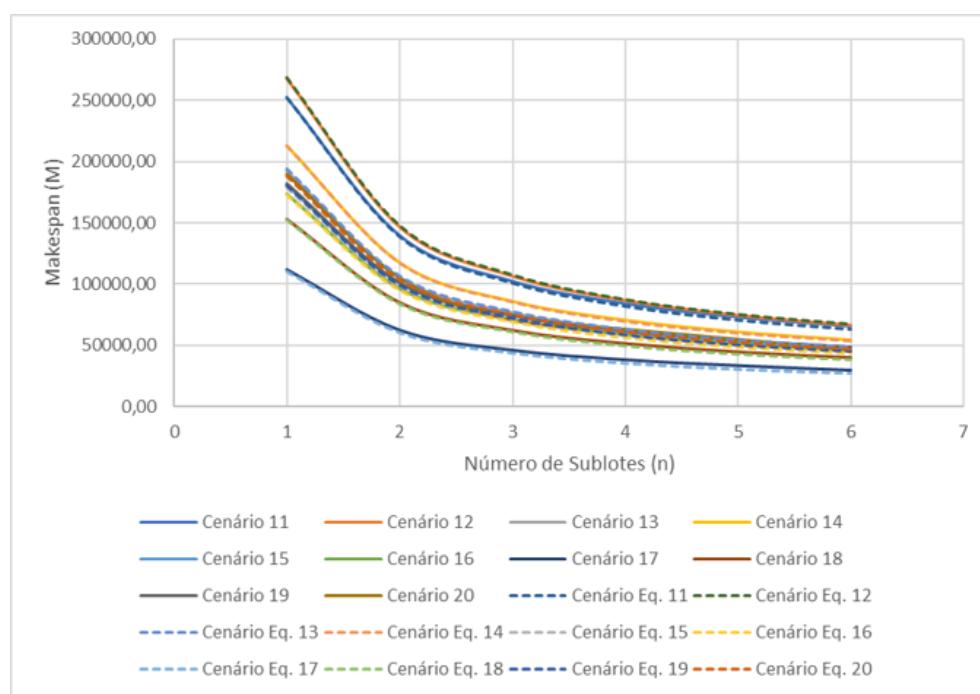


Figura 64: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 11 ao 20

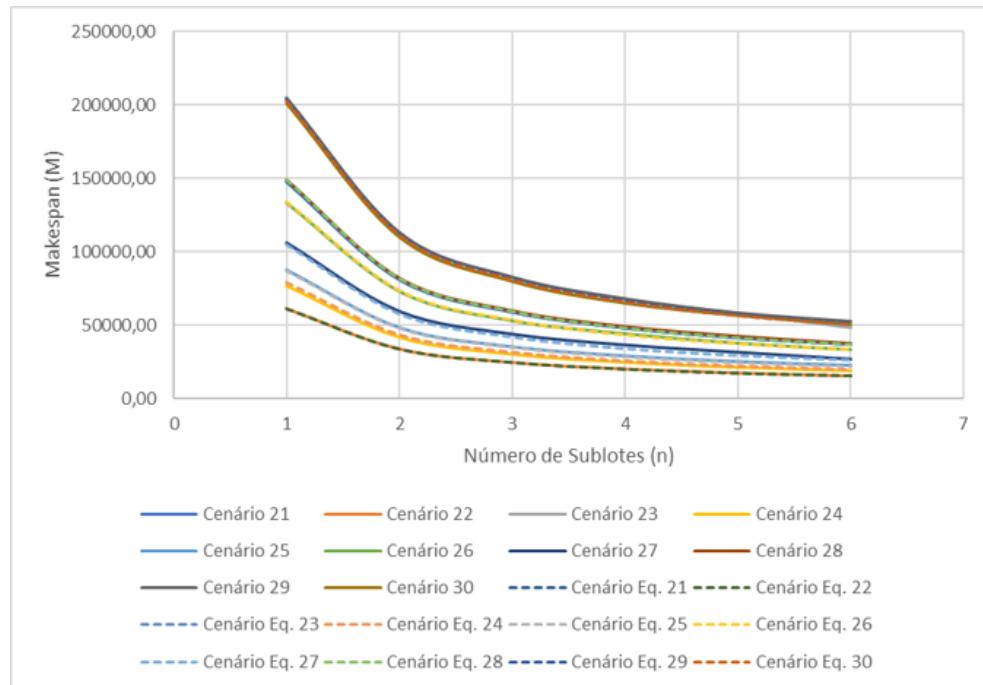


Figura 65: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 21 ao 30

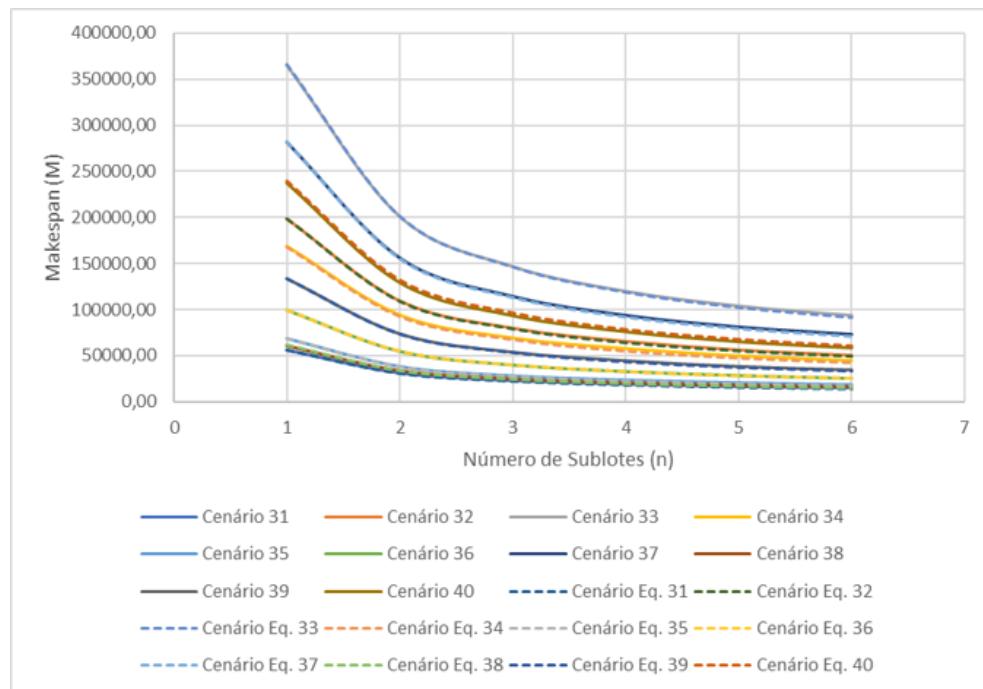


Figura 66: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 31 ao 40

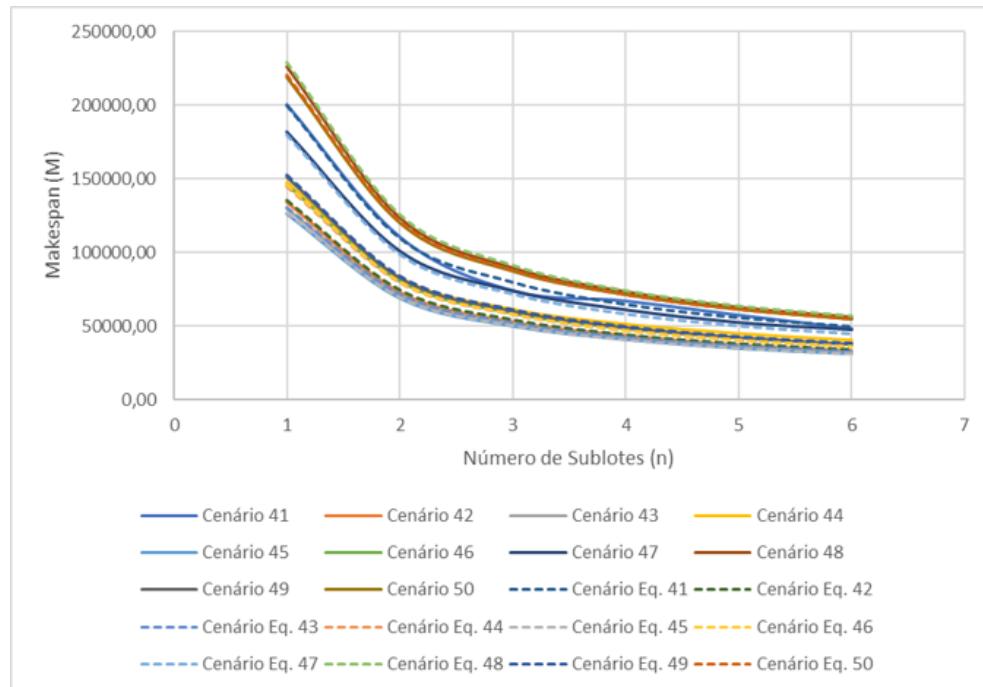


Figura 67: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 41 ao 50

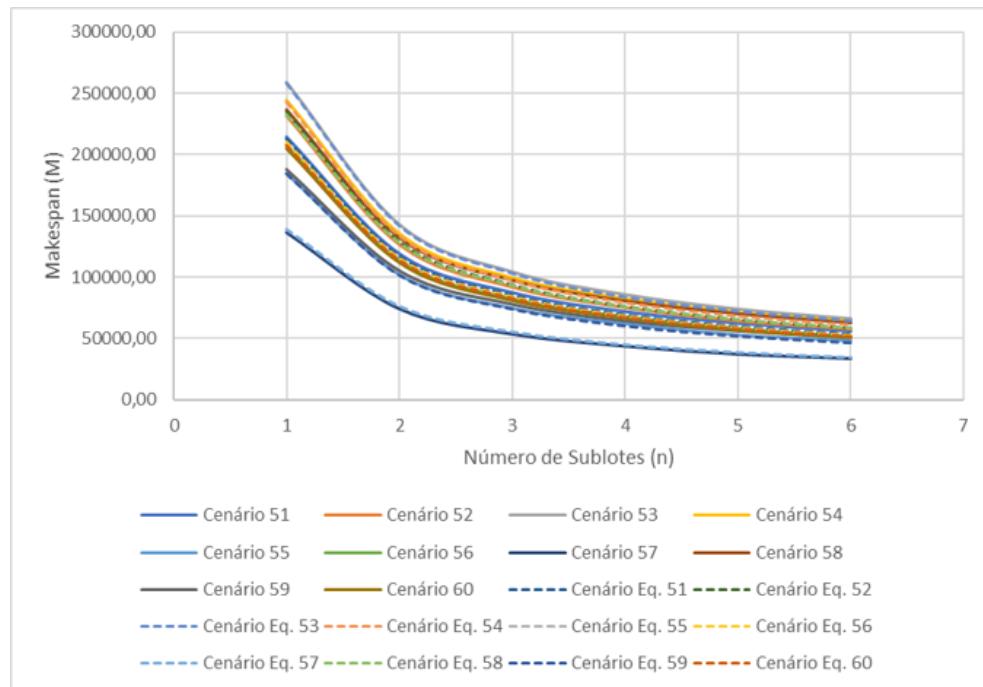


Figura 68: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 51 ao 60

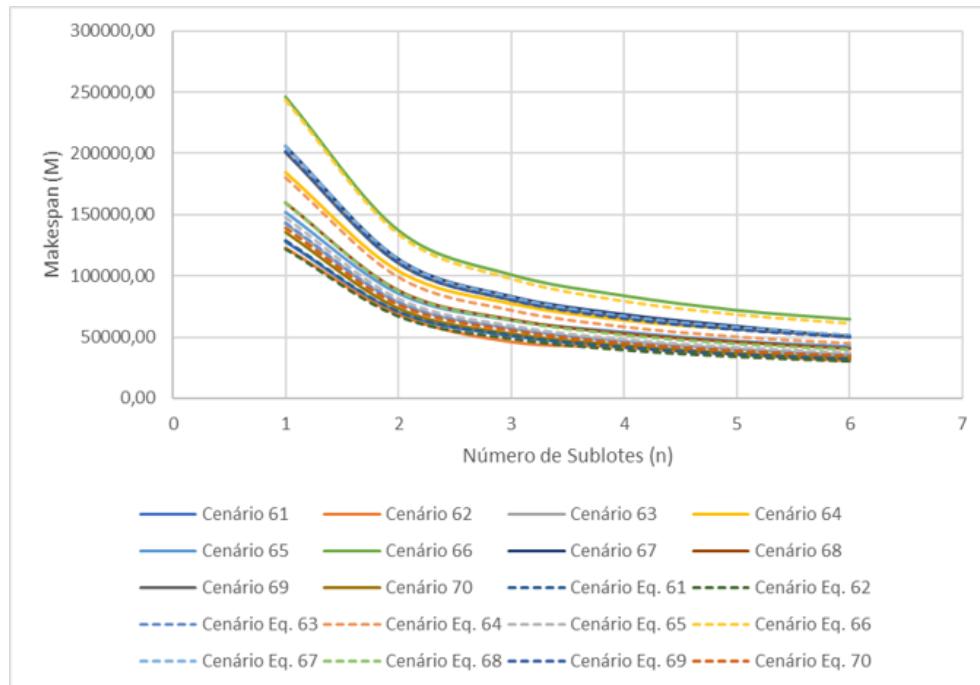


Figura 69: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 61 ao 70

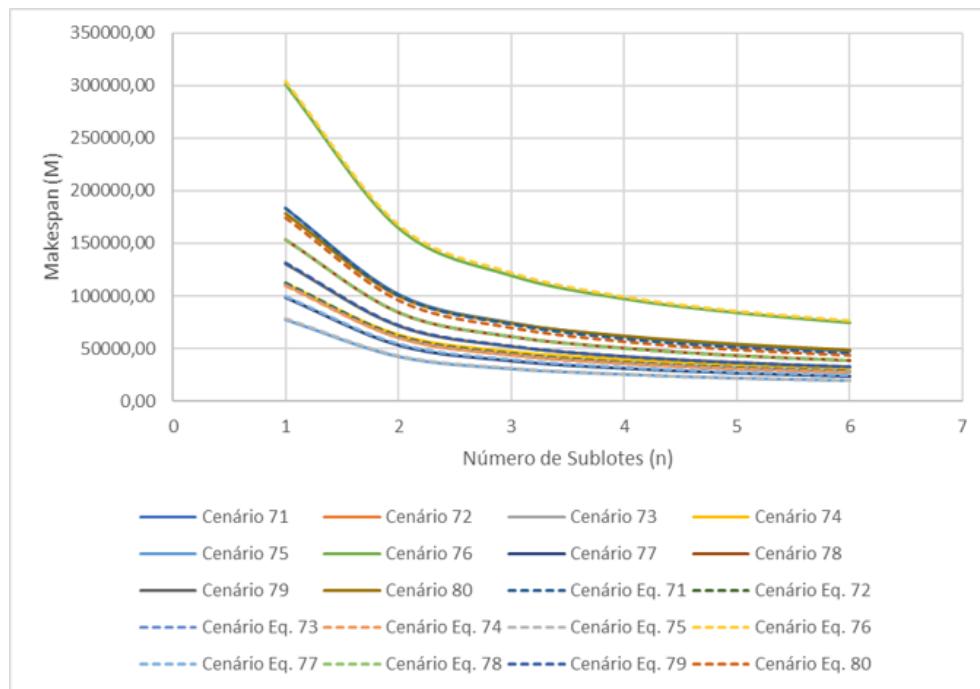


Figura 70: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 71 ao 80

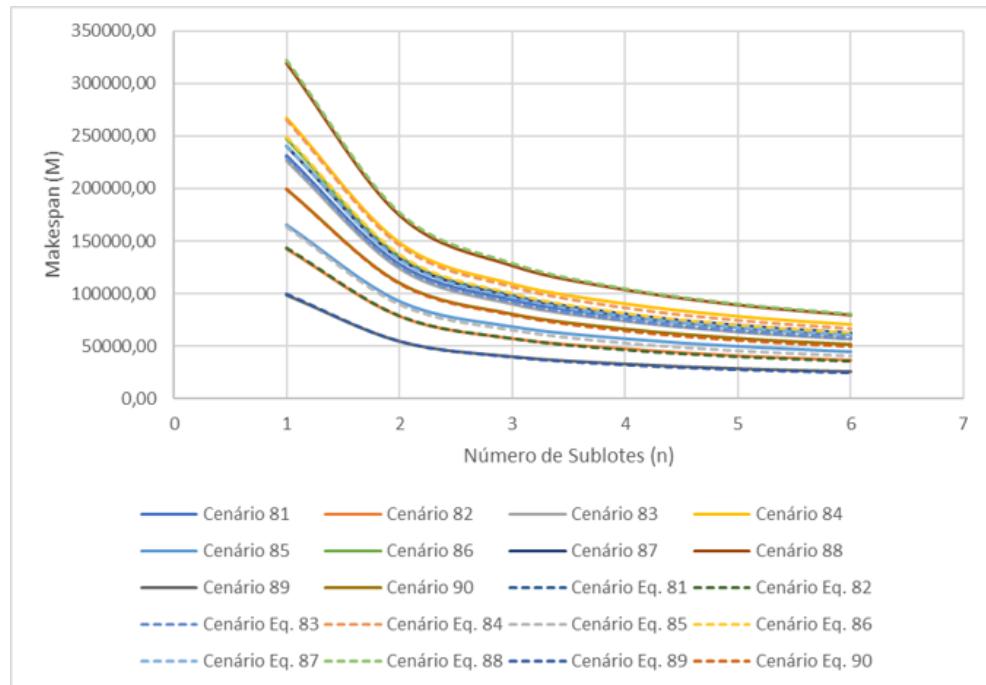


Figura 71: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 81 ao 90

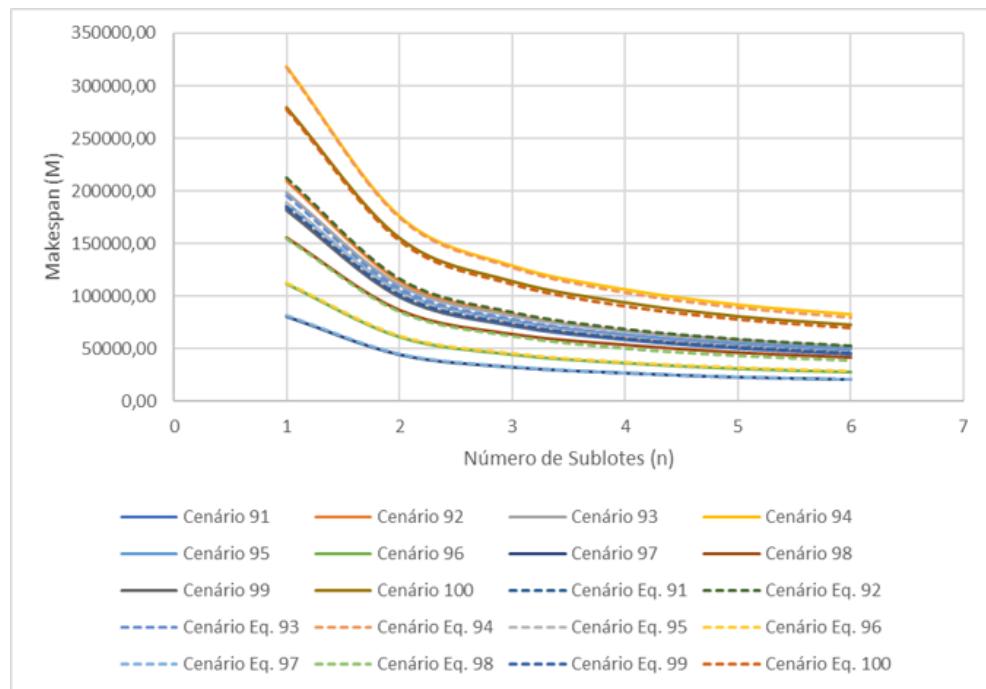


Figura 72: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 20% do 91 ao 100

## N Apêndice - Comparação dos *Makespan* dos cenários com 10 máquinas e variação de até 50%

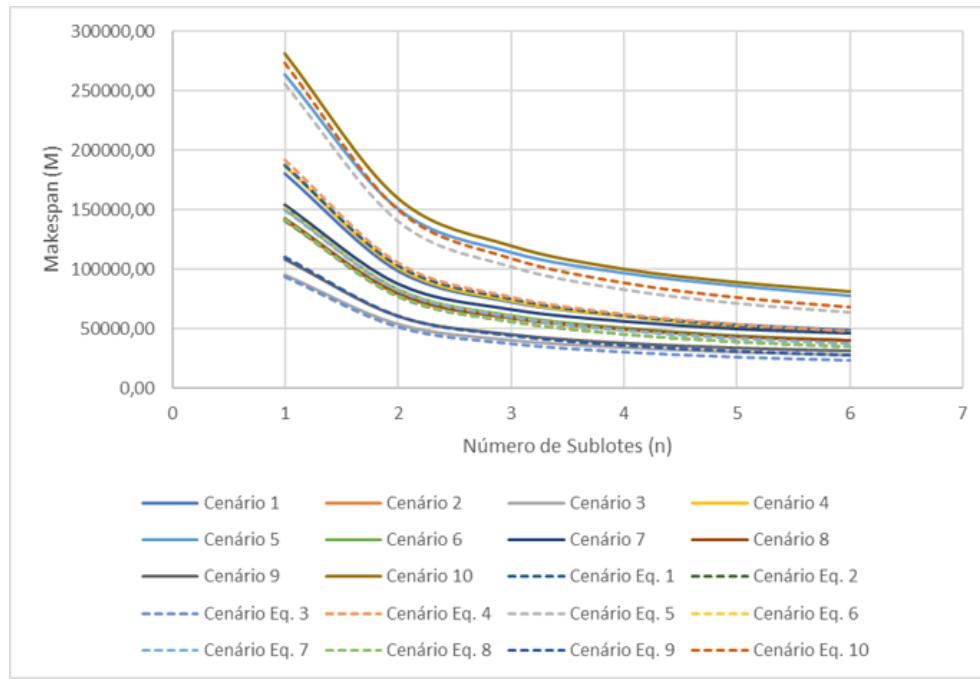


Figura 73: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 50% do 01 ao 10

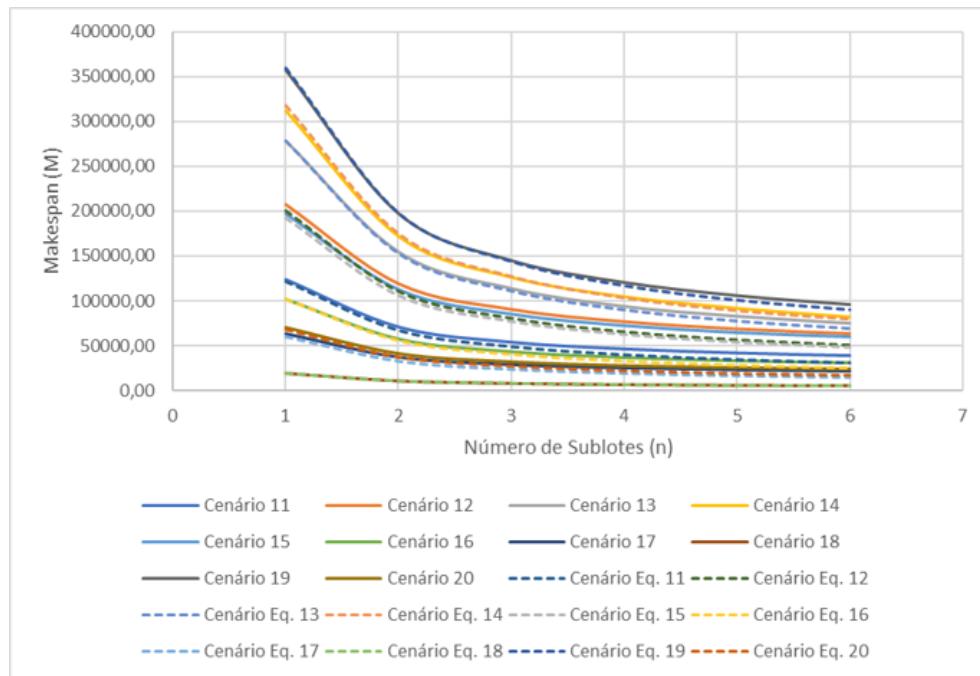


Figura 74: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 50% do 11 ao 20

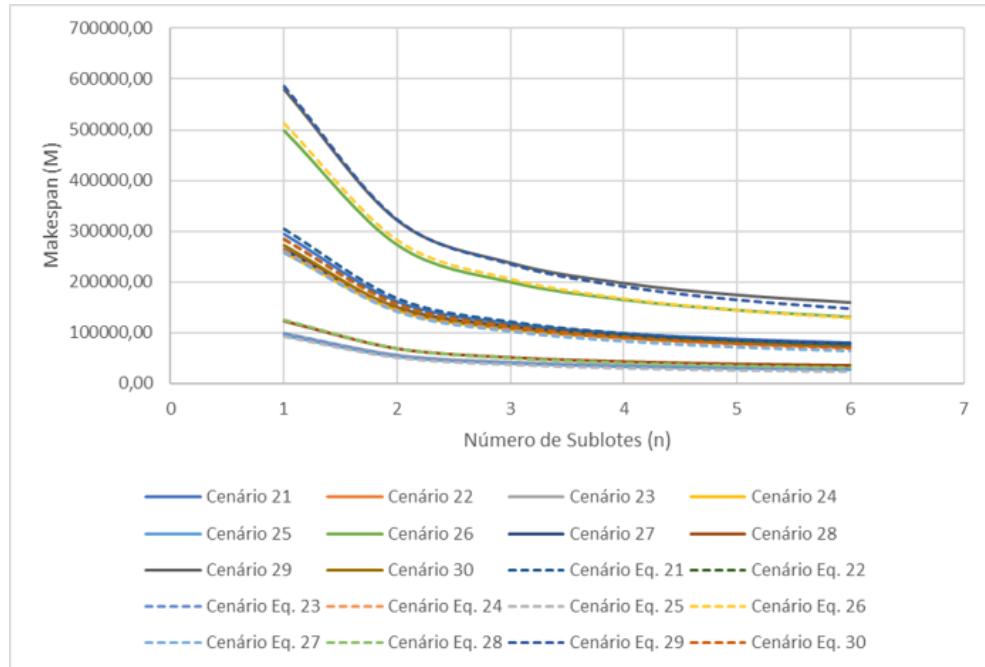


Figura 75: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 50% do 21 ao 30

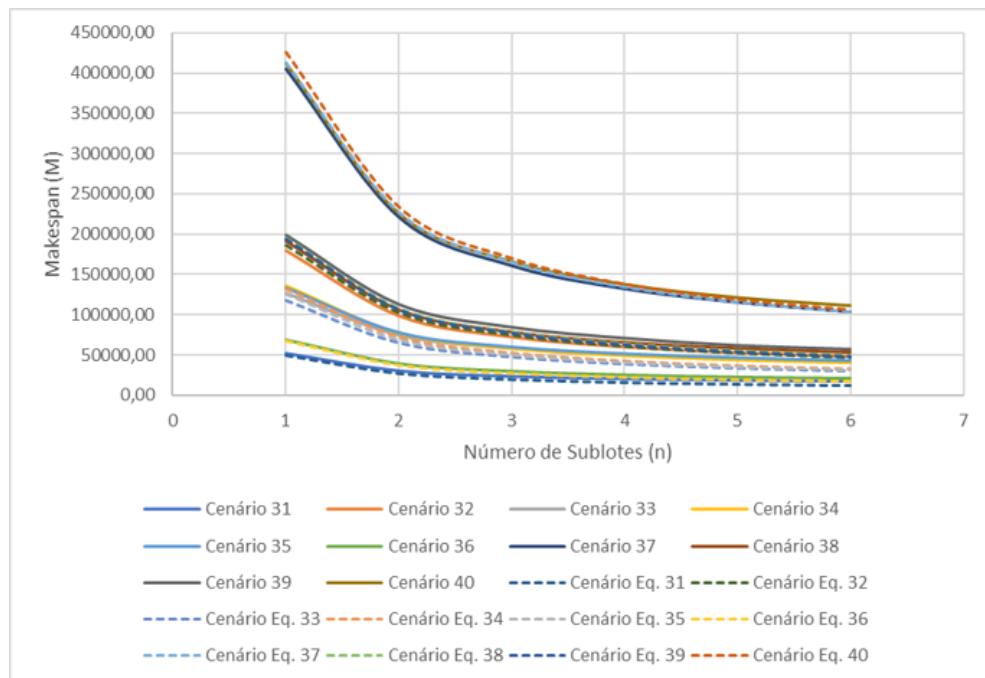


Figura 76: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 50% do 31 ao 40

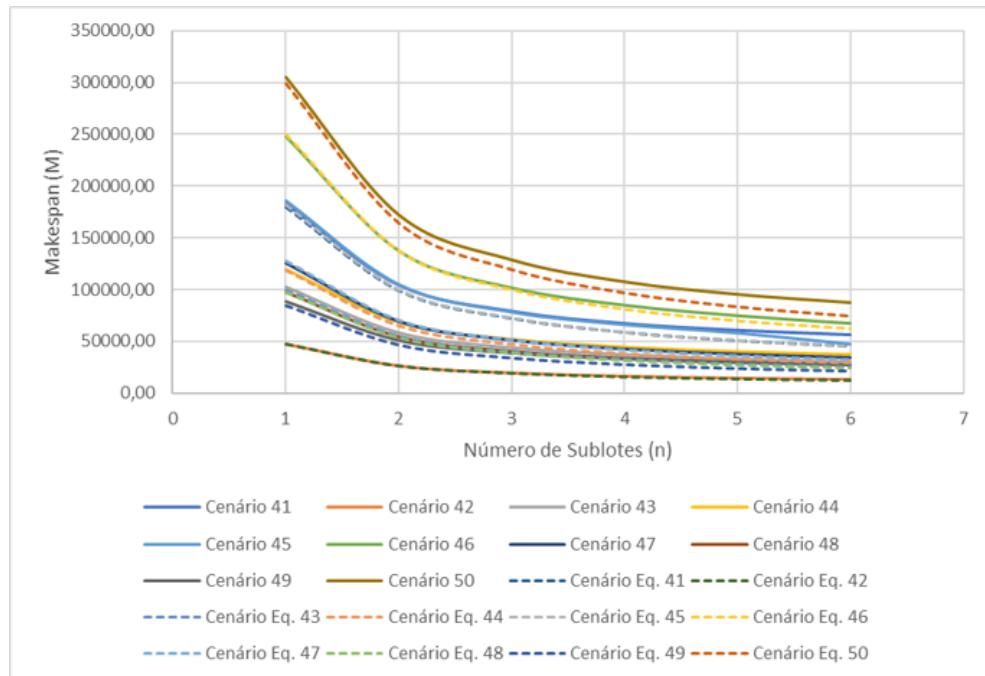


Figura 77: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 50% do 41 ao 50

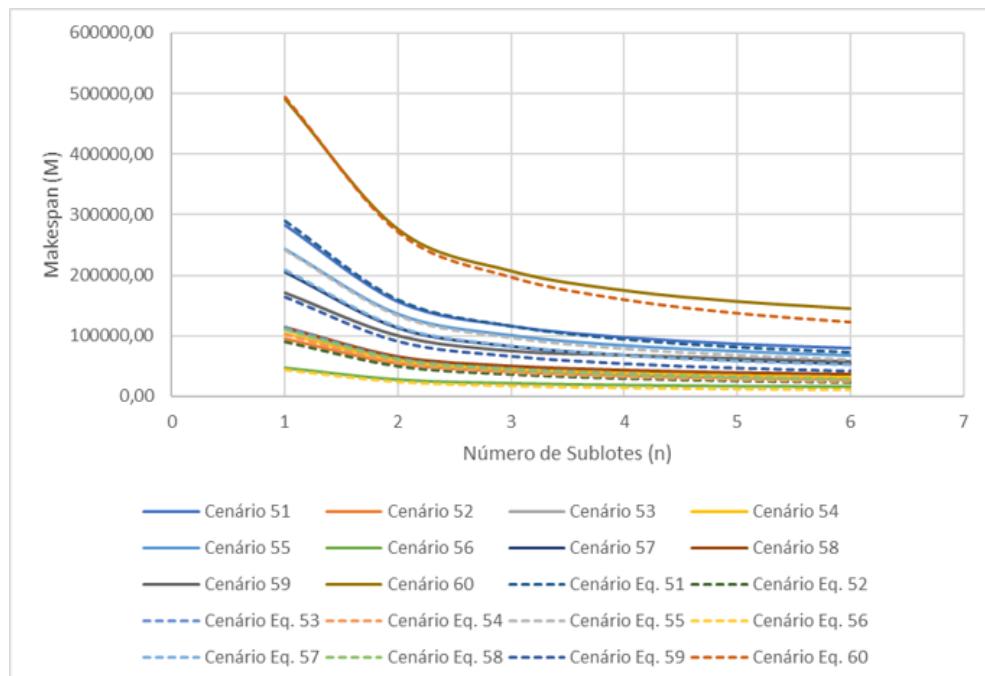


Figura 78: Makespan dos cenários 10 máquinas e 50% do 51 ao 60

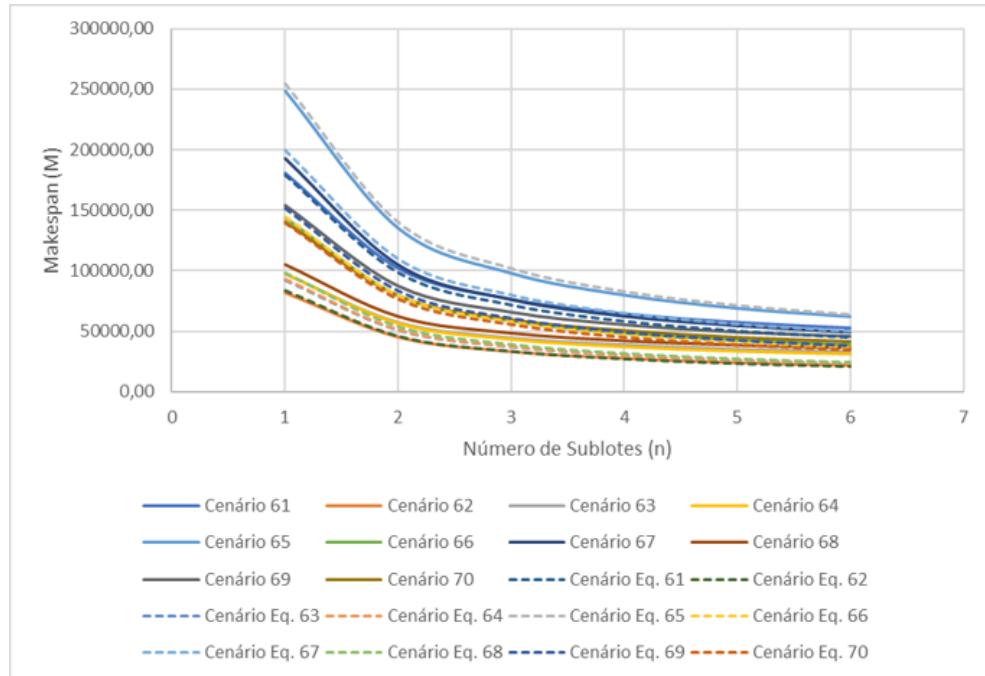


Figura 79: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 50% do 61 ao 70

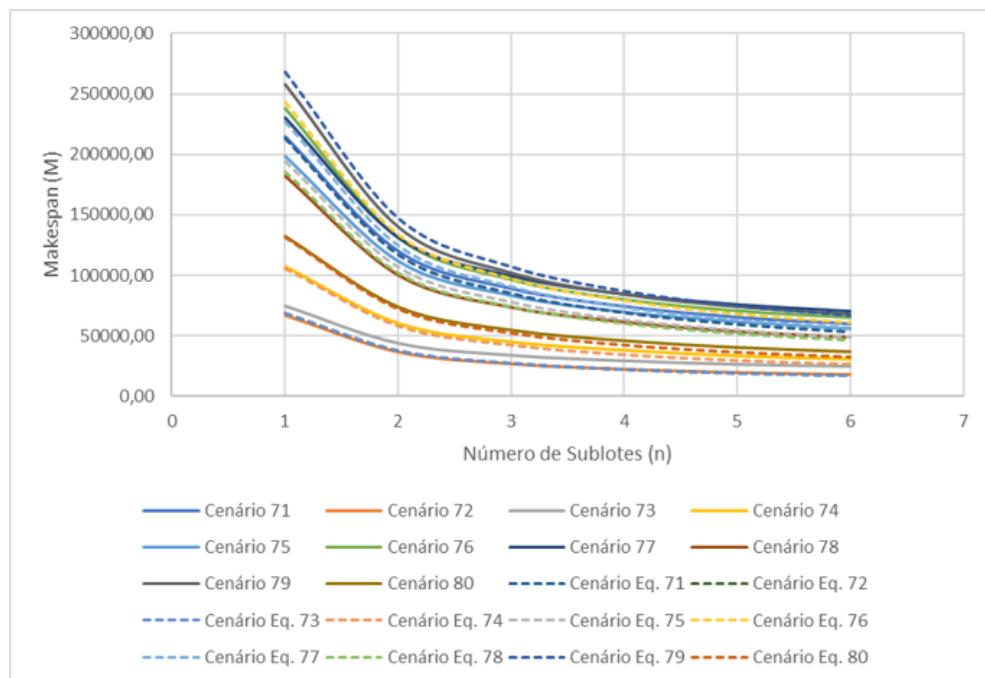


Figura 80: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 50% do 71 ao 80

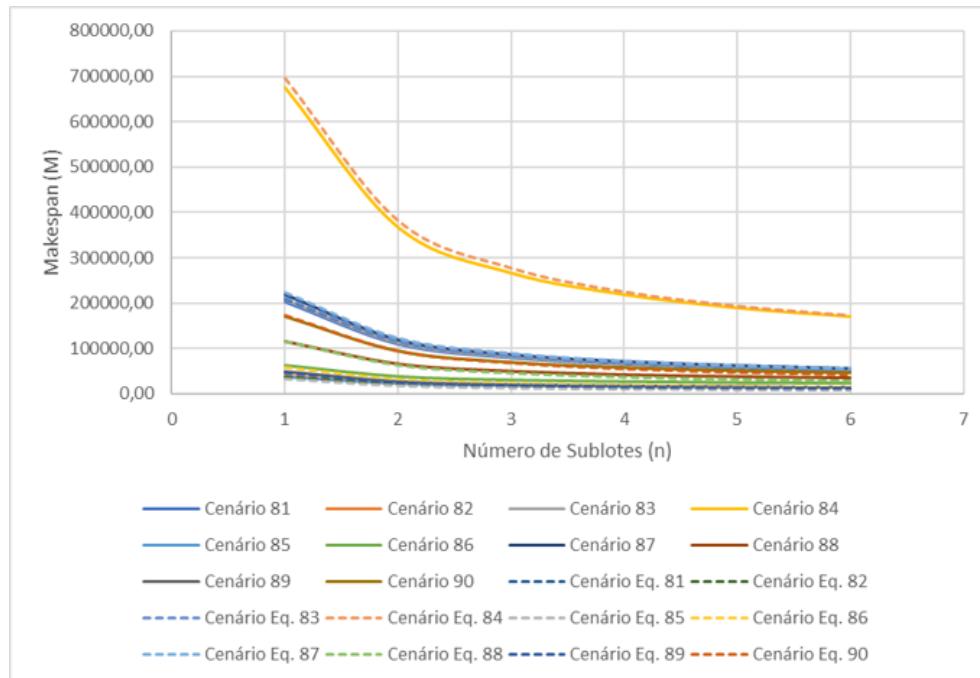


Figura 81: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 50% do 81 ao 90

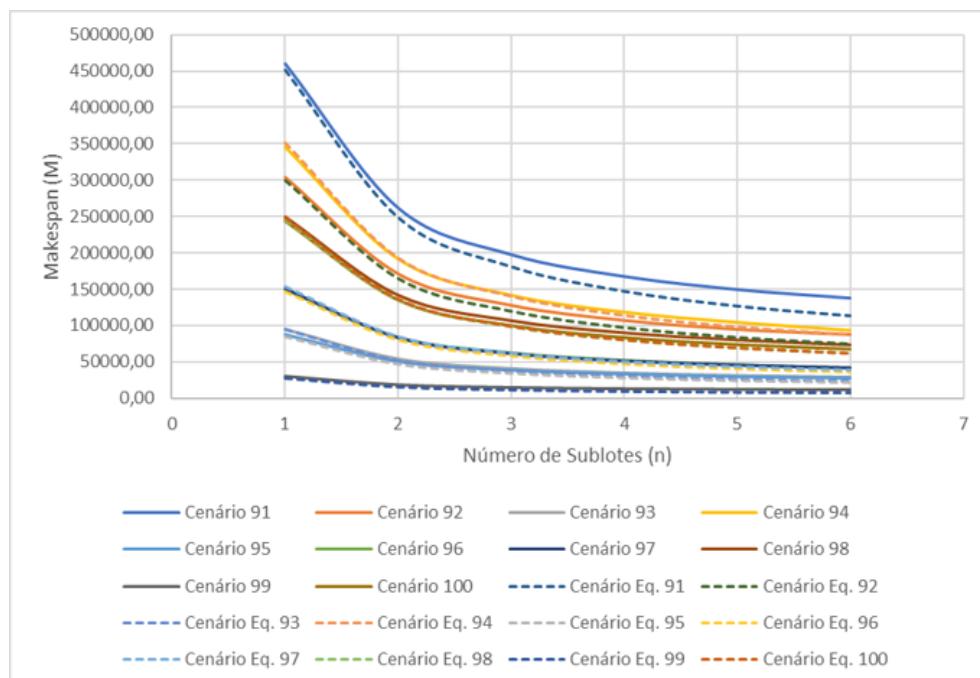


Figura 82: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 50% do 91 ao 100

## O Apêndice - Comparação dos *Makespan* dos cenários com 10 máquinas e variação de até 70%

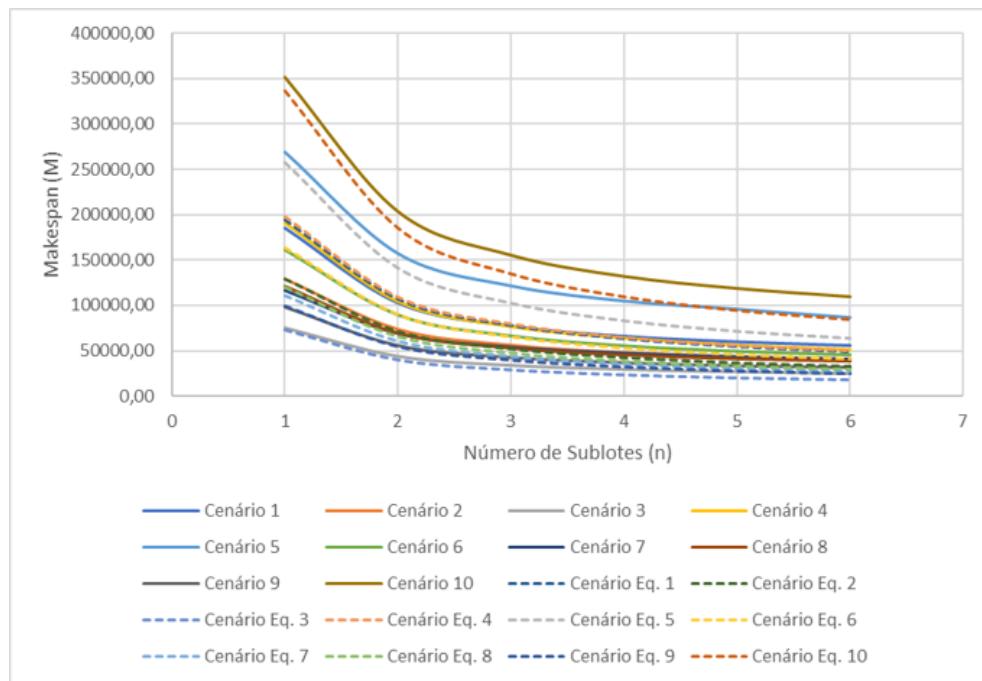


Figura 83: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 01 ao 10

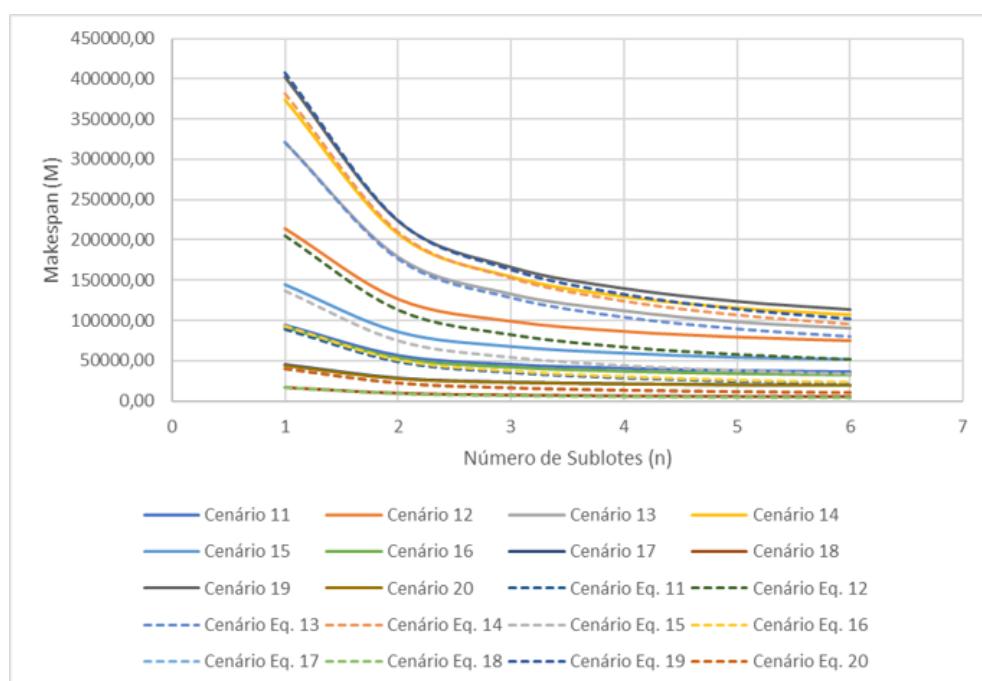


Figura 84: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 11 ao 20

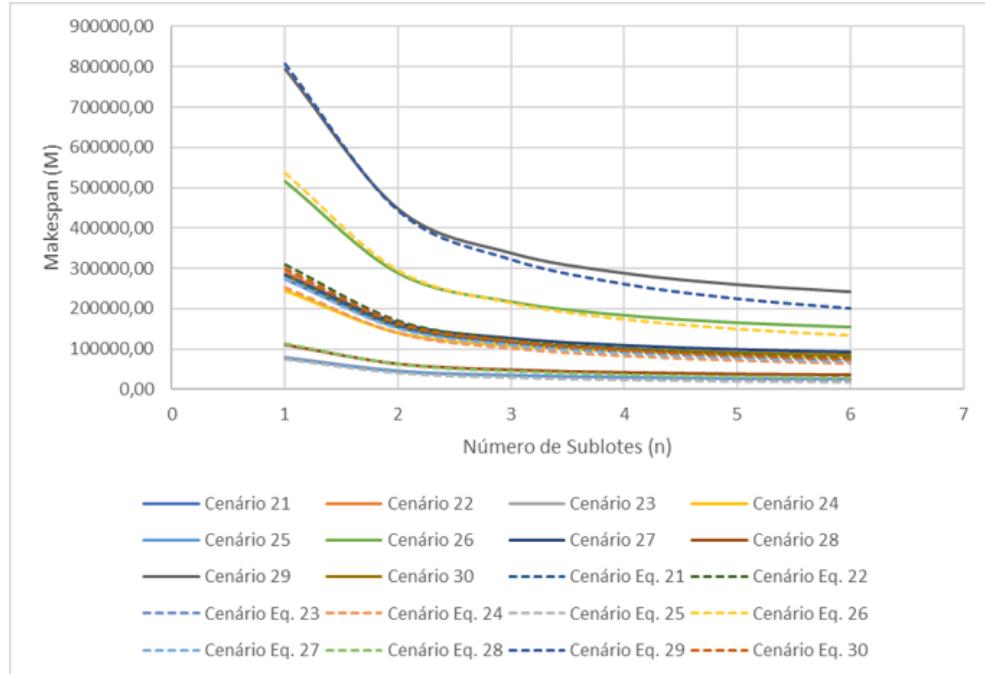


Figura 85: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 21 ao 30

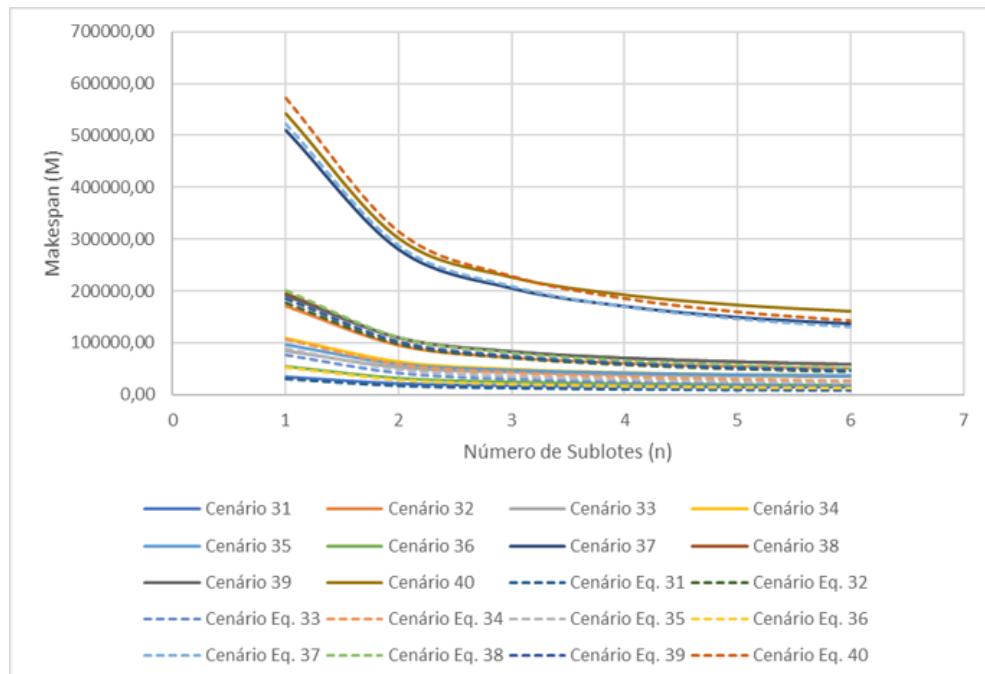


Figura 86: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 31 ao 40

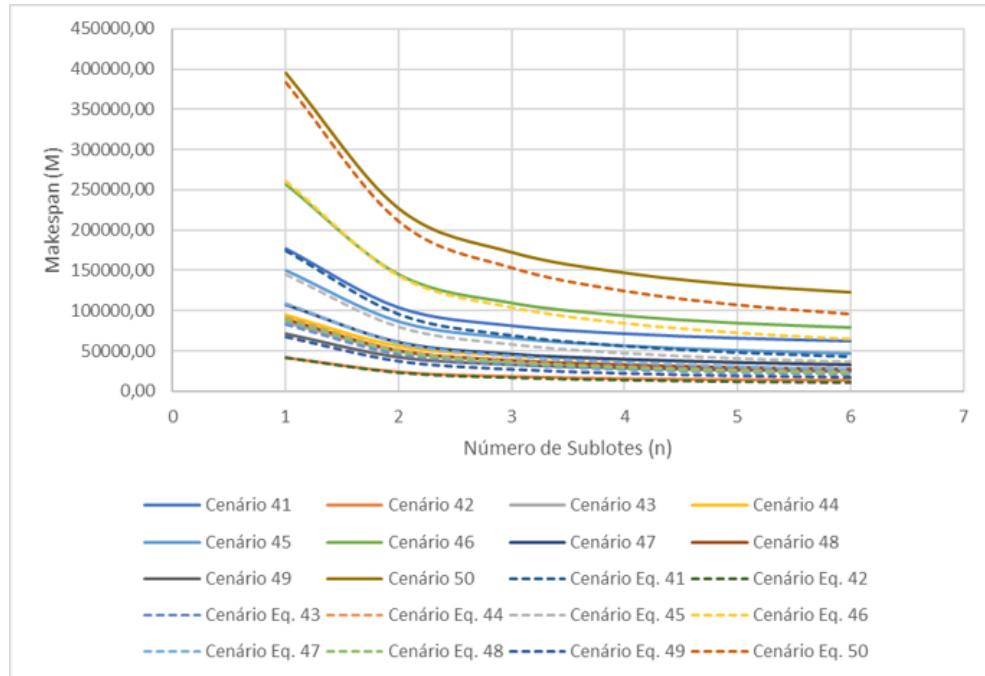


Figura 87: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 41 ao 50

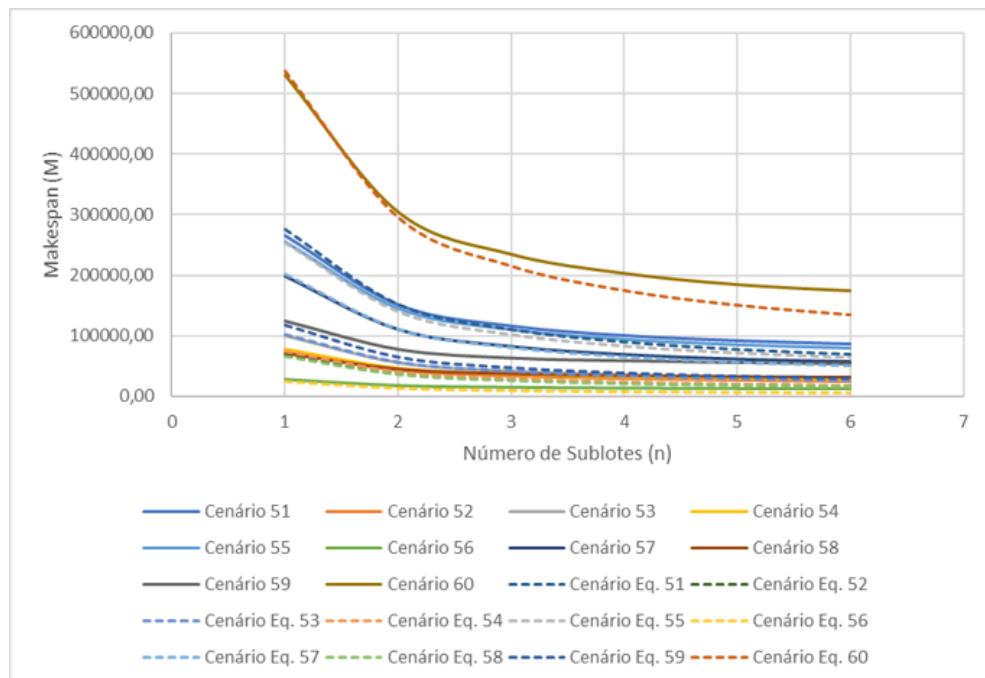


Figura 88: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 51 ao 60

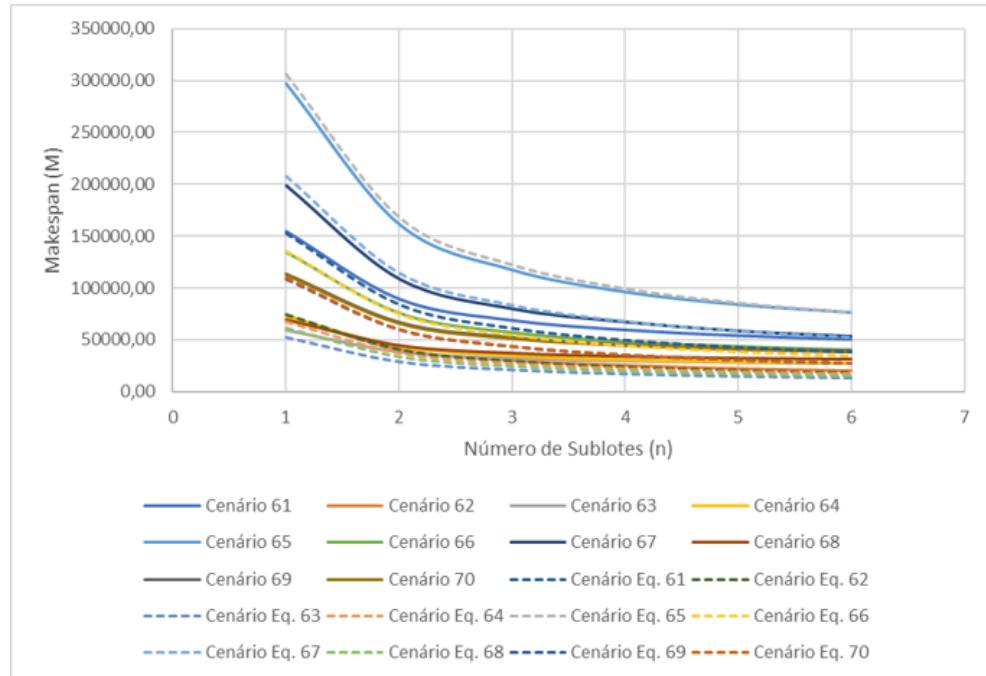


Figura 89: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 61 ao 70

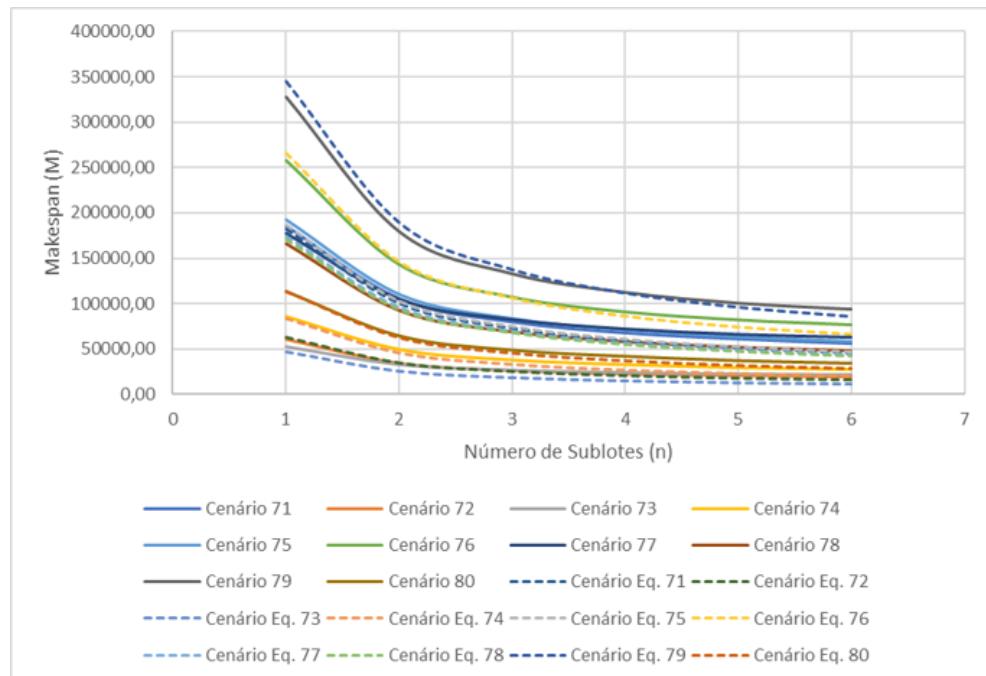


Figura 90: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 71 ao 80

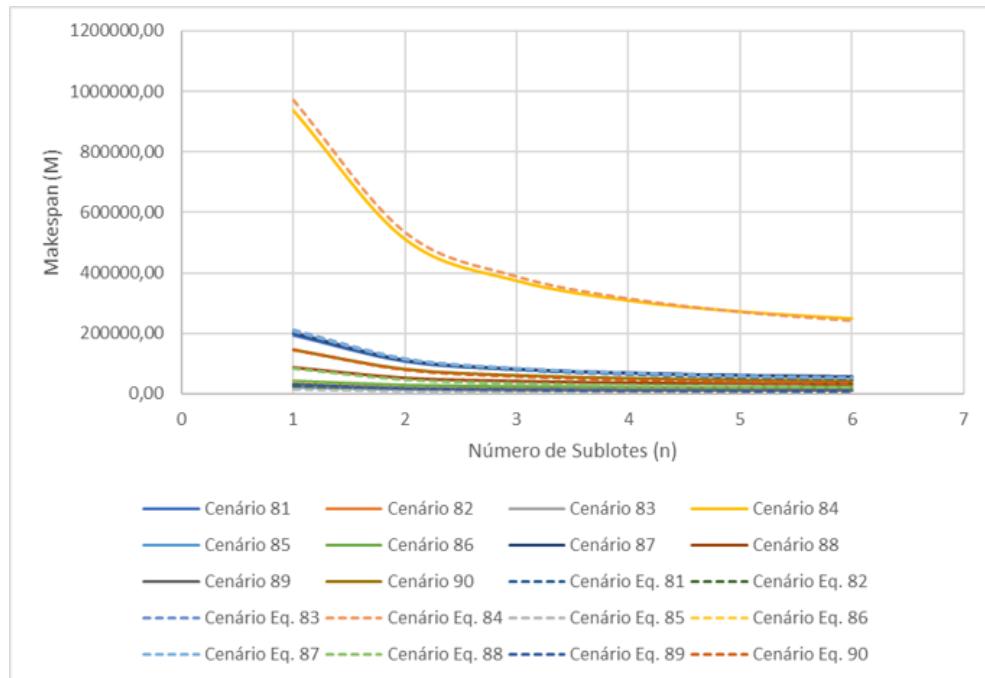


Figura 91: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 81 ao 90

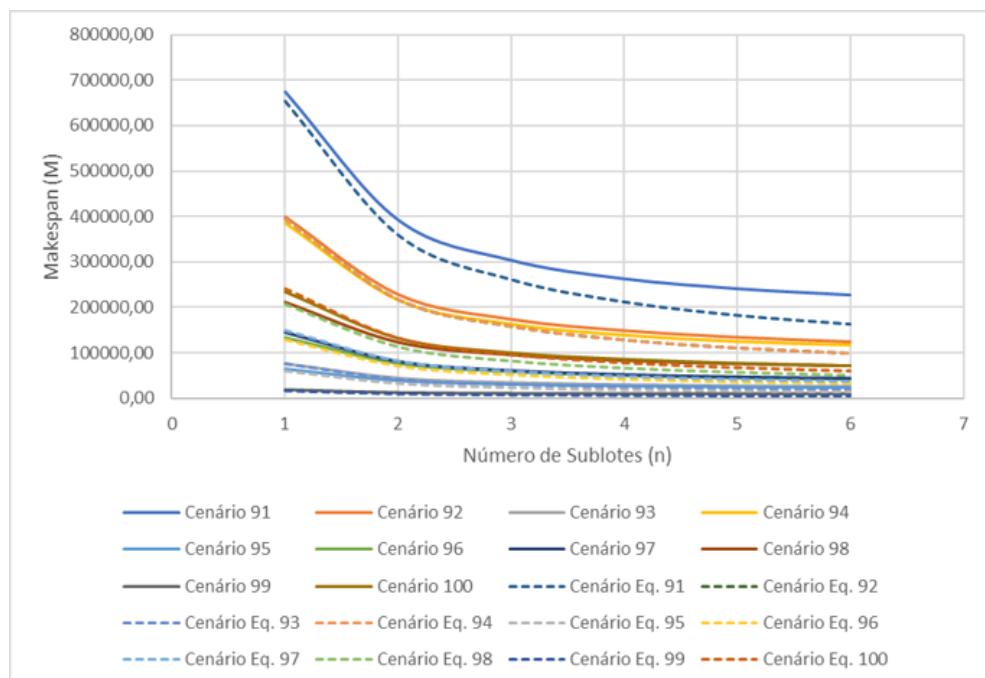


Figura 92: *Makespan* dos cenários 10 máquinas e 70% do 91 ao 100

## P Apêndice - Comparação dos *Makespan* dos cenários com 15 máquinas e variação de até 20%

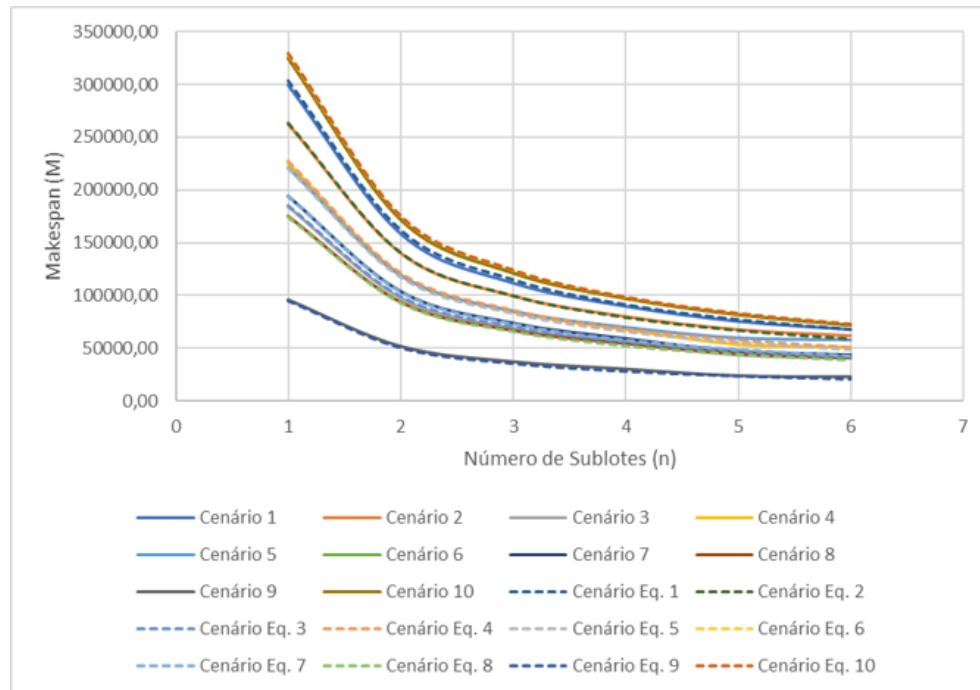


Figura 93: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 01 ao 10

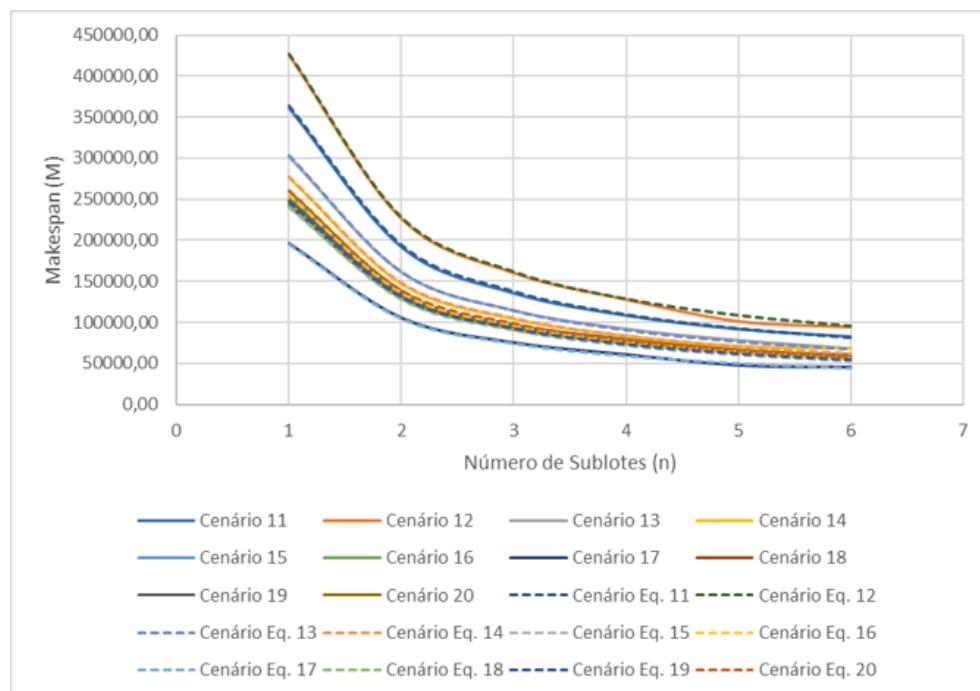


Figura 94: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 11 ao 20

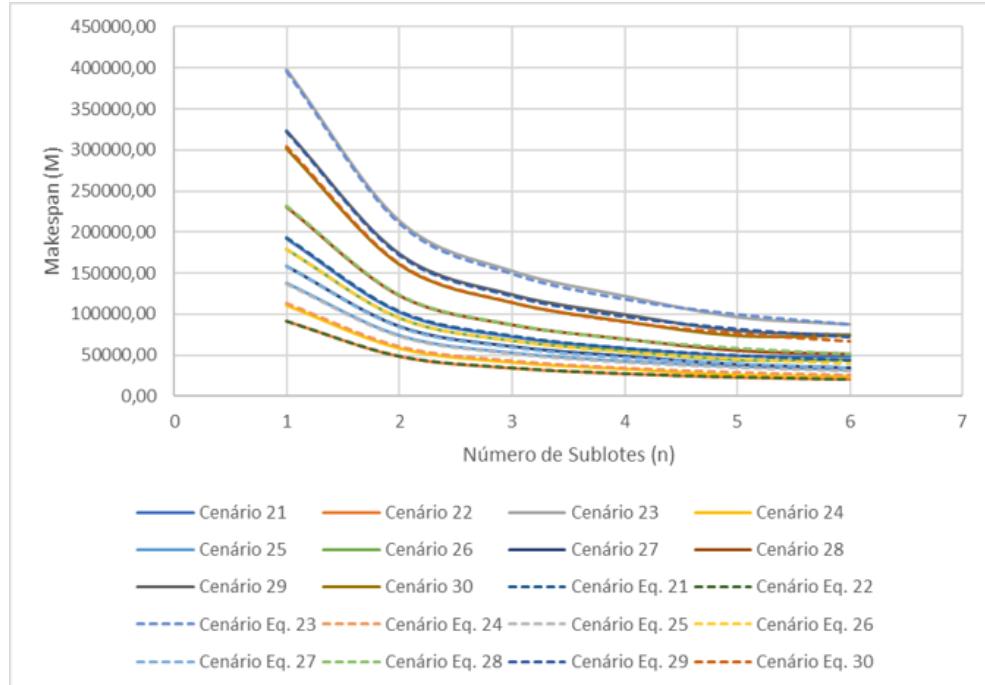


Figura 95: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 21 ao 30

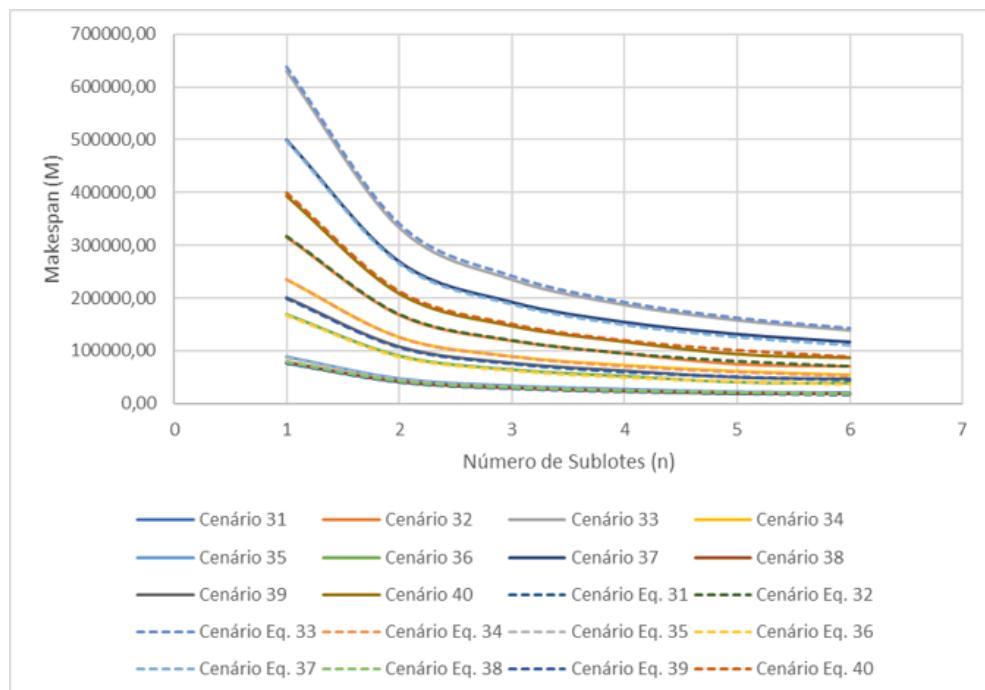


Figura 96: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 31 ao 40

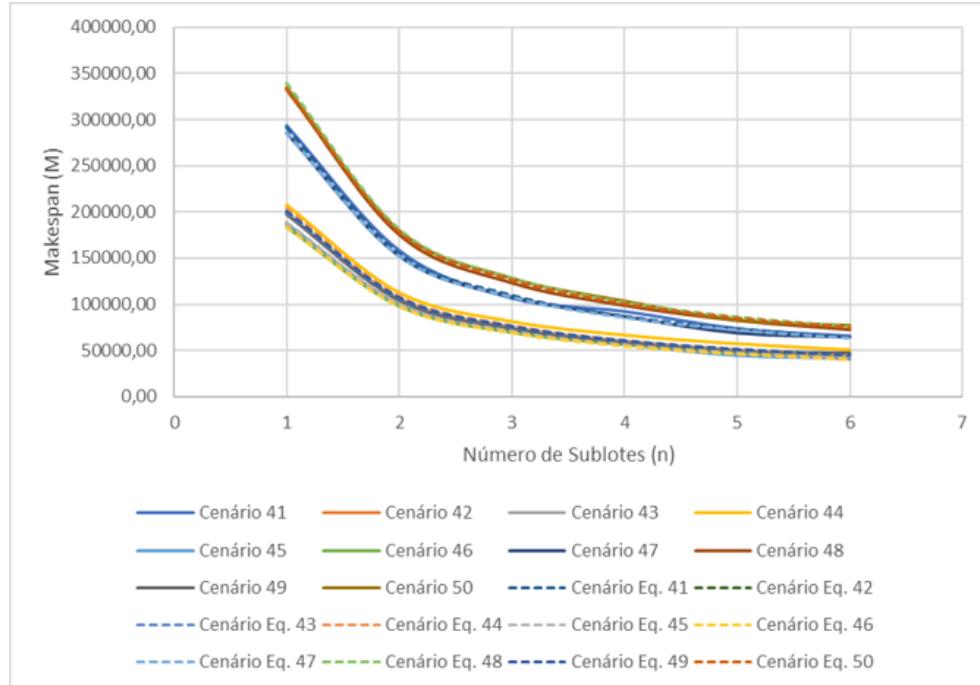


Figura 97: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 41 ao 50

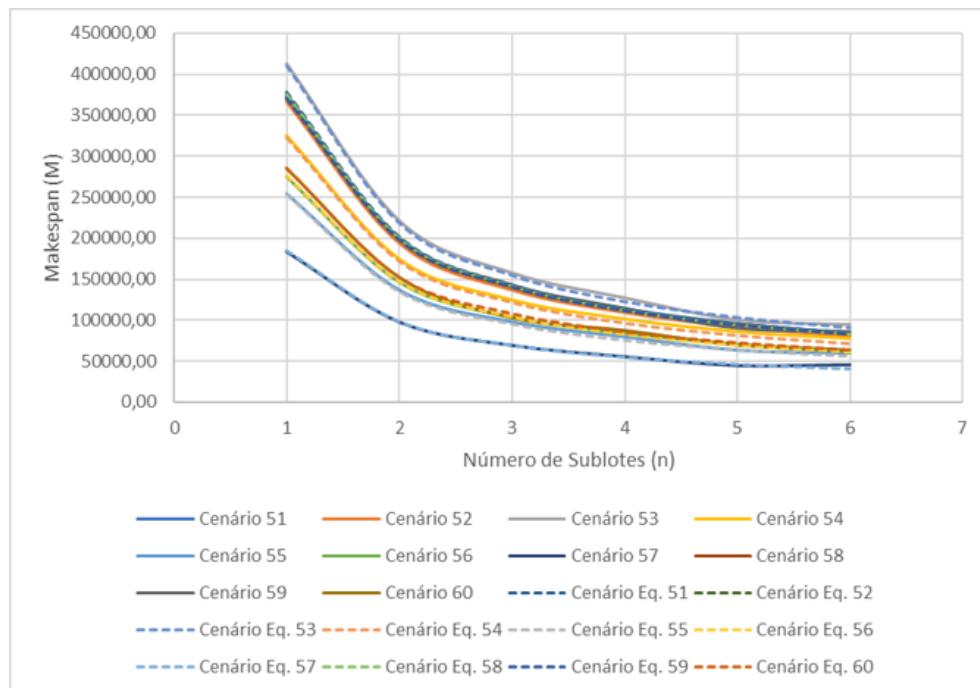


Figura 98: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 51 ao 60

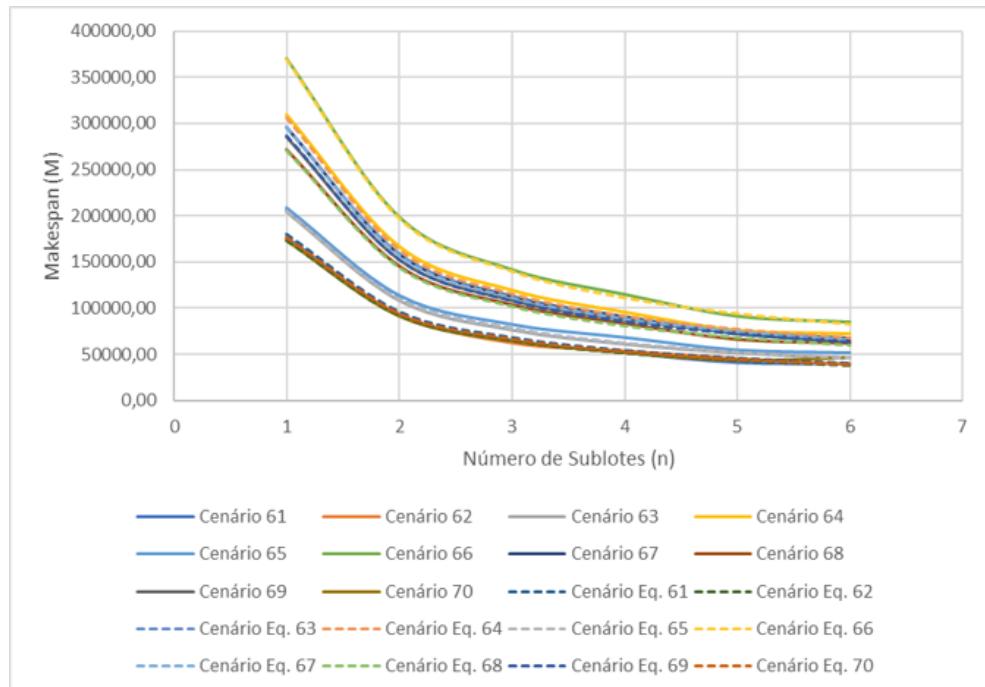


Figura 99: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 61 ao 70

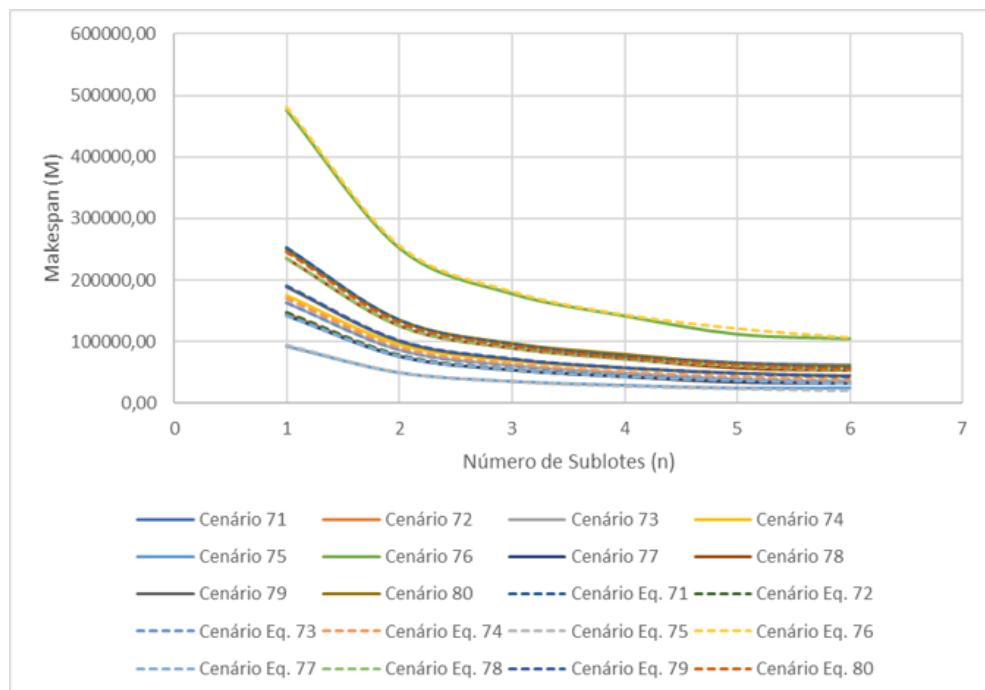


Figura 100: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 71 ao 80

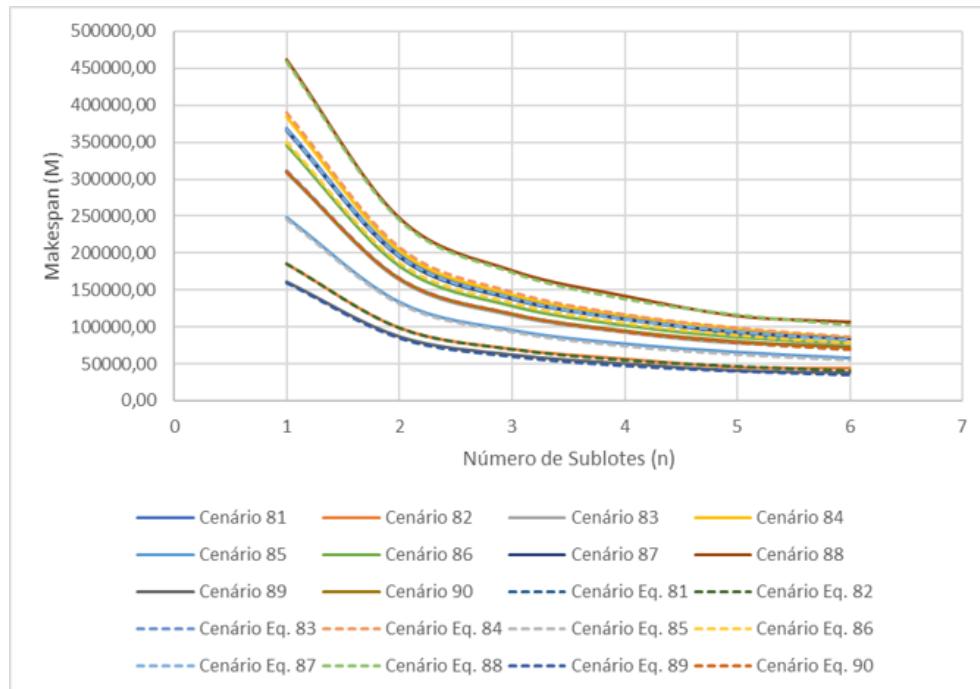


Figura 101: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 81 ao 90

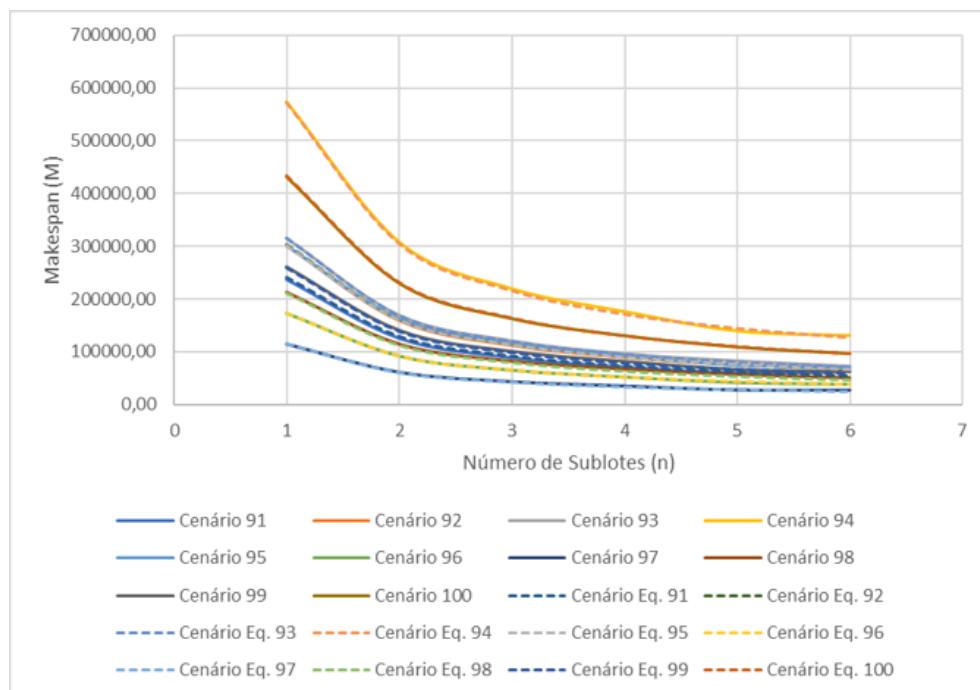


Figura 102: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 20% do 91 ao 100

## Q Apêndice - Comparação dos *Makespan* dos cenários com 15 máquinas e variação de até 50%

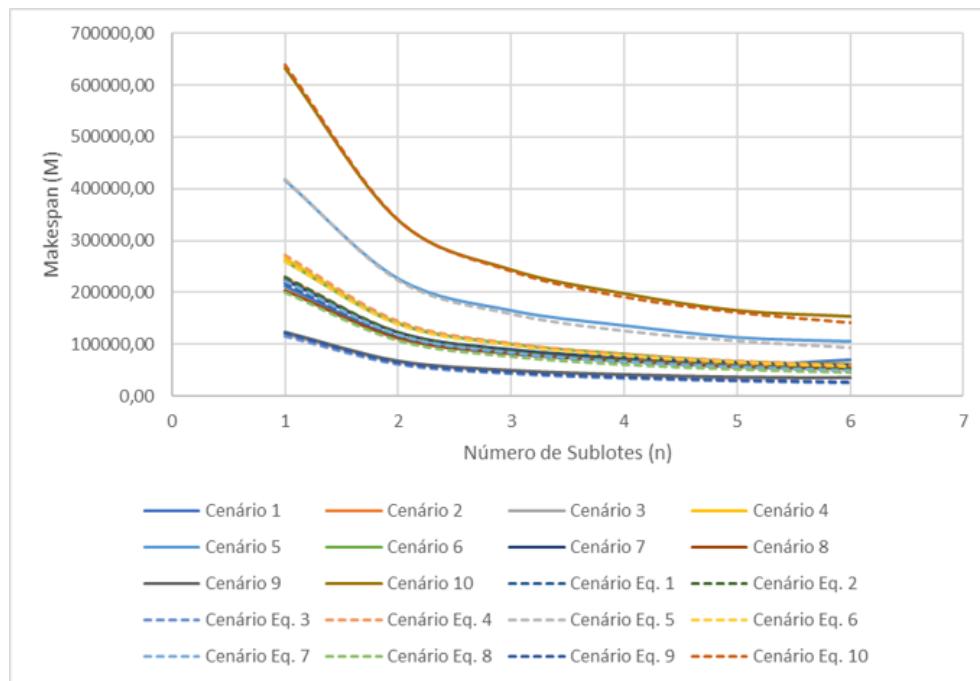


Figura 103: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 01 ao 10

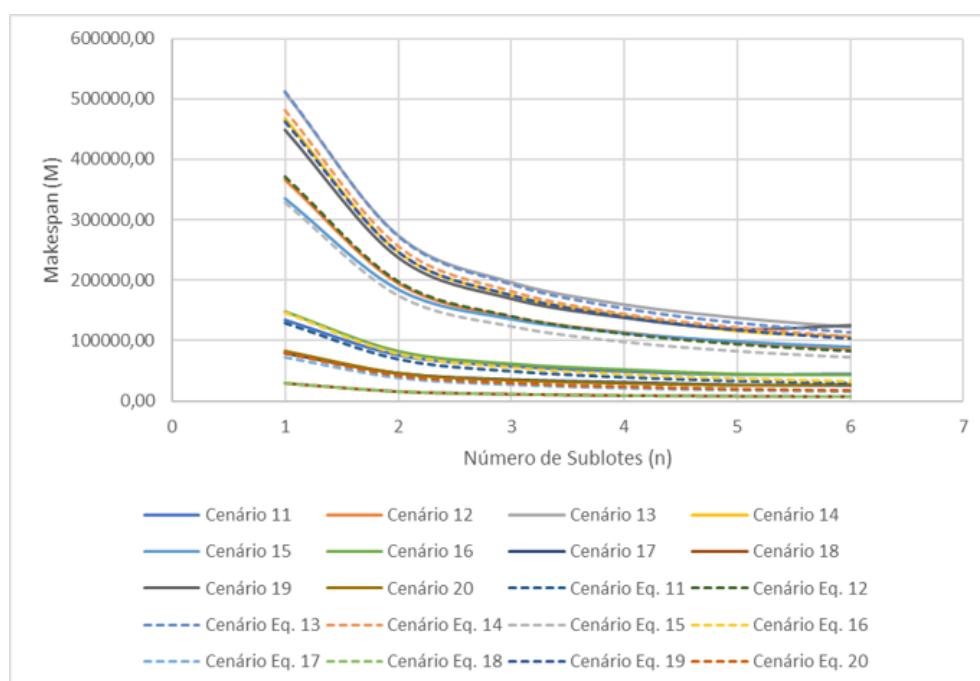


Figura 104: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 11 ao 20

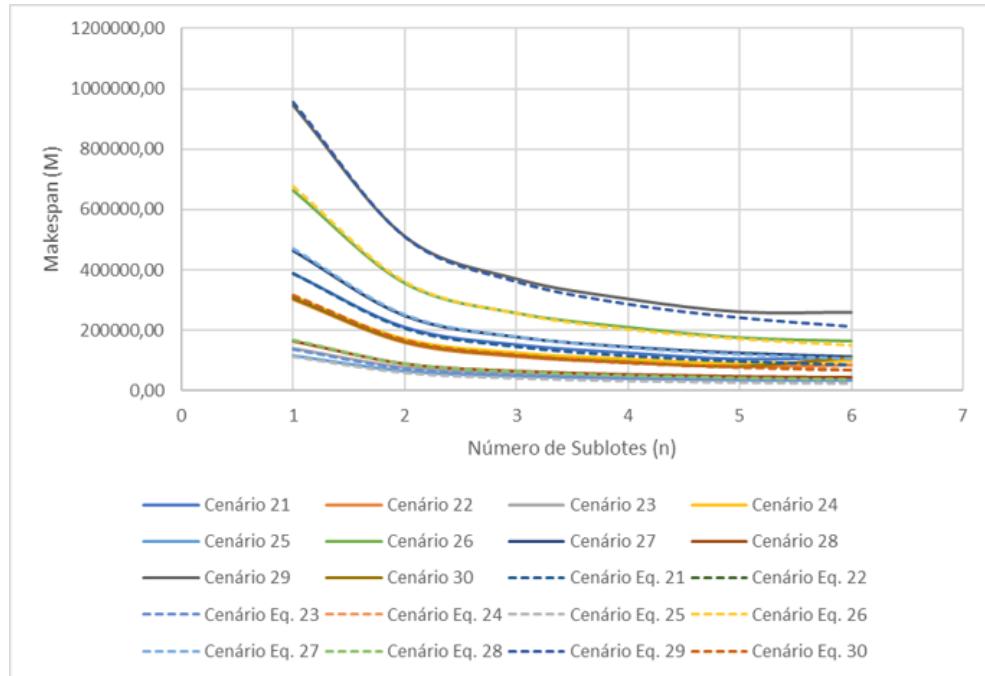


Figura 105: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 21 ao 30

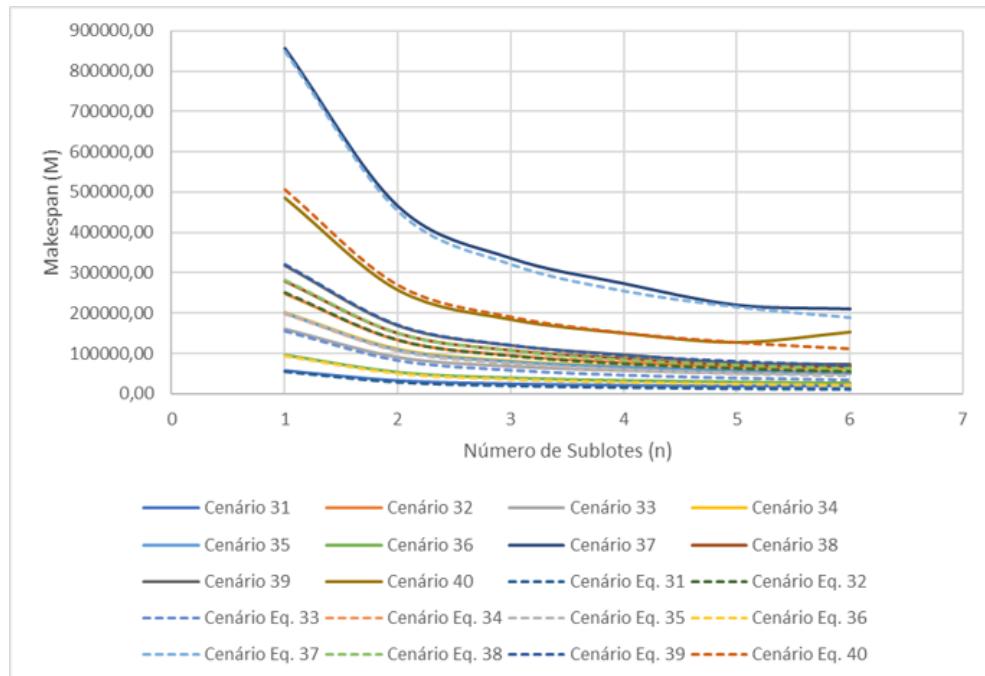


Figura 106: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 31 ao 40

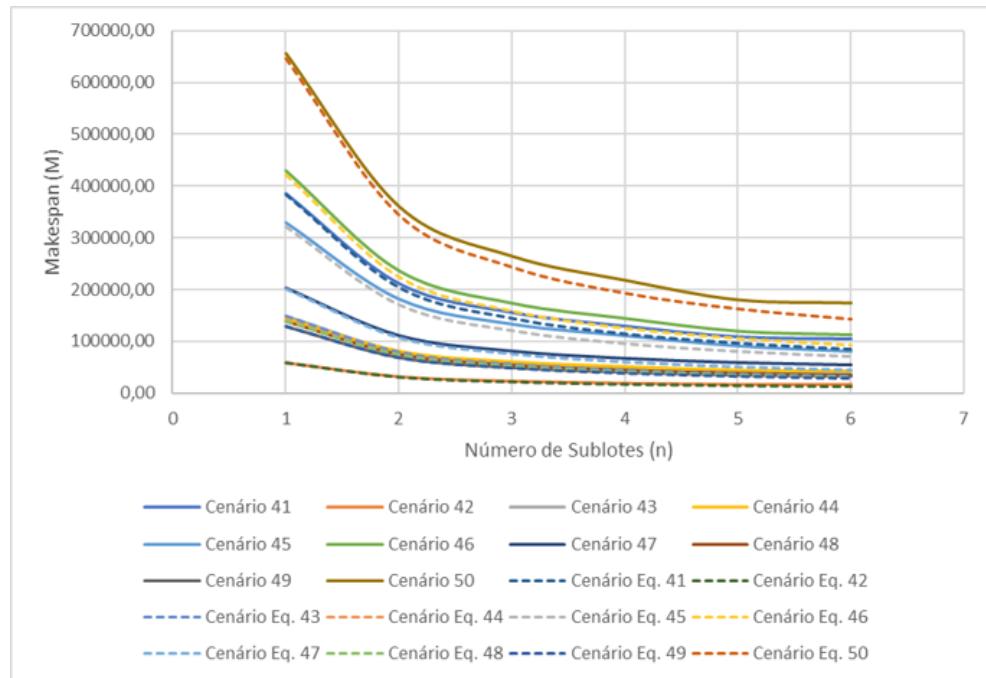


Figura 107: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 41 ao 50

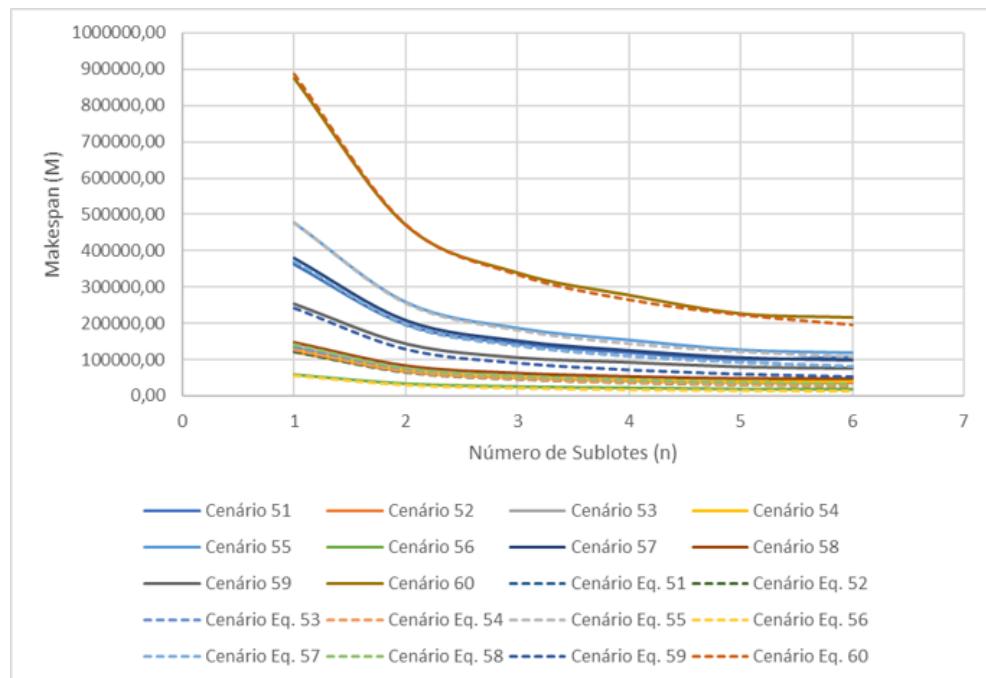


Figura 108: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 51 ao 60

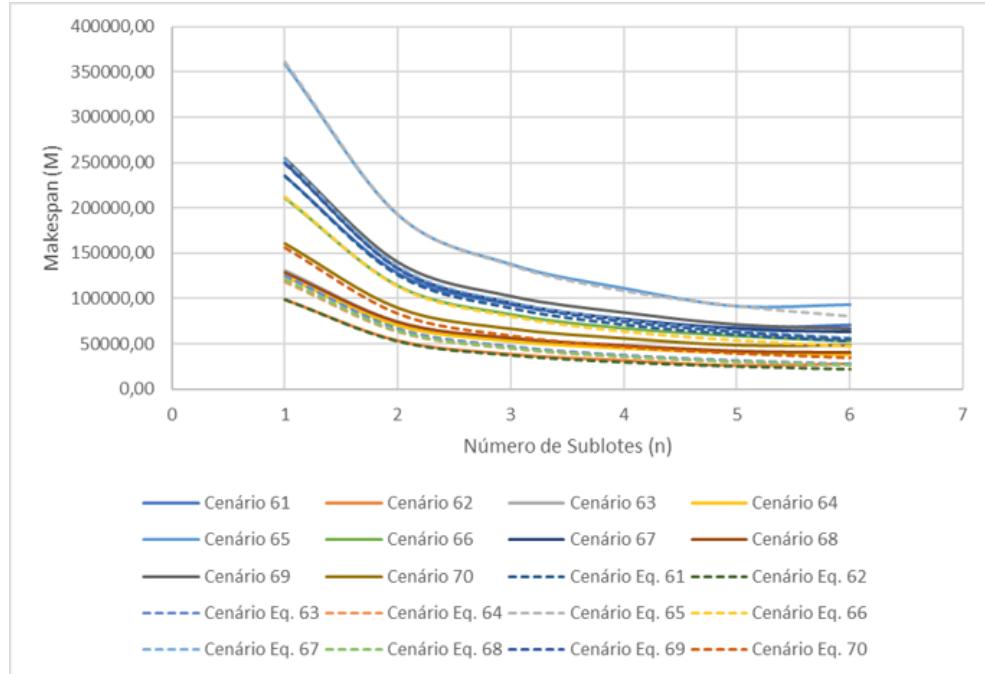


Figura 109: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 61 ao 70

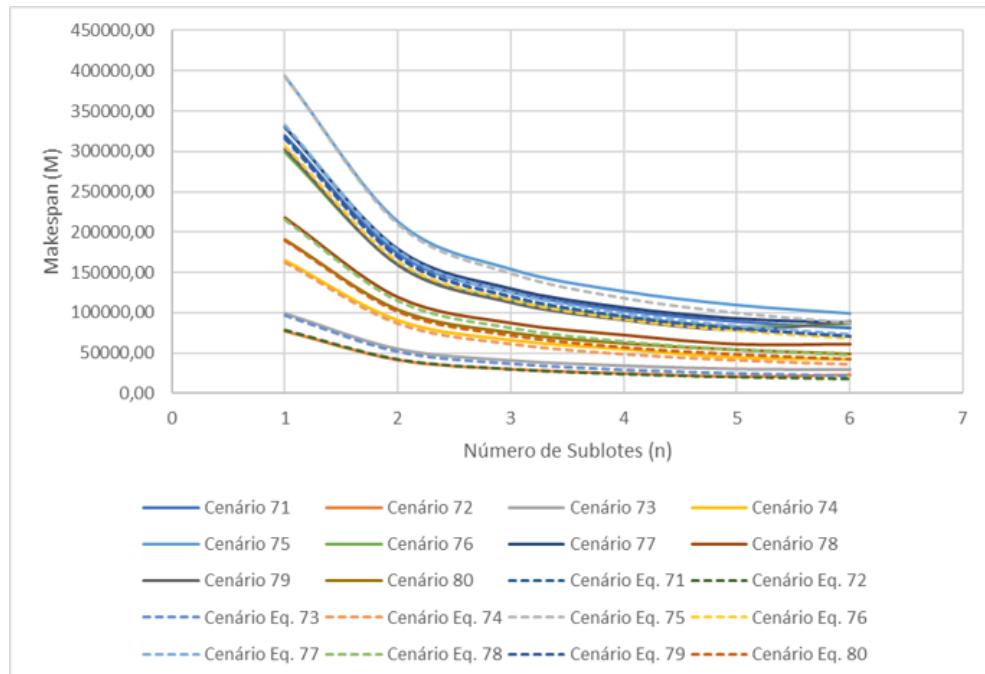


Figura 110: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 71 ao 80

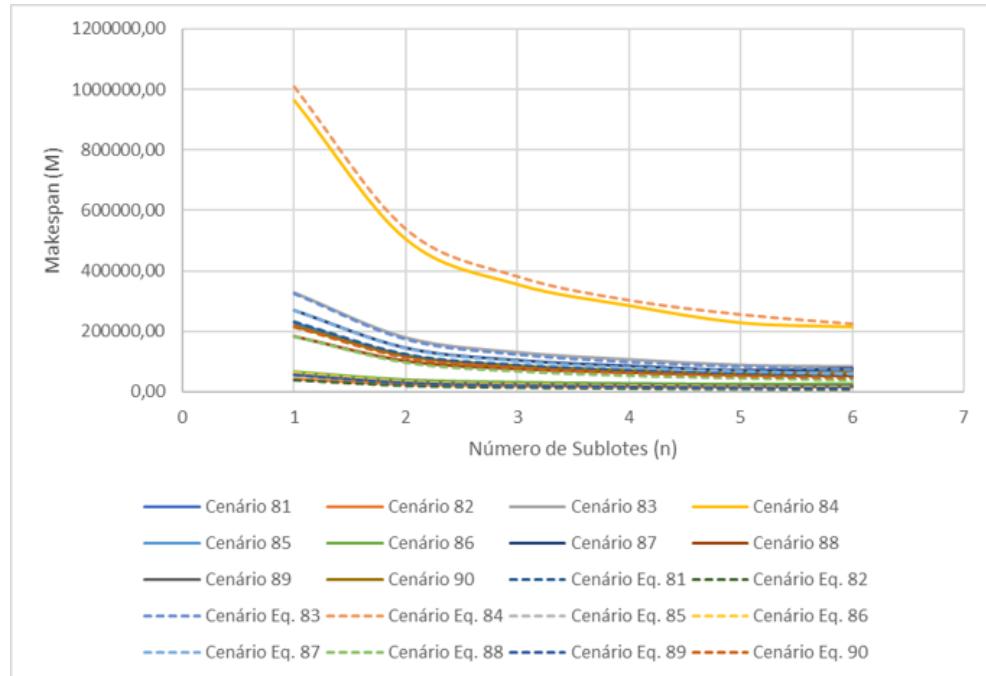


Figura 111: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 81 ao 90

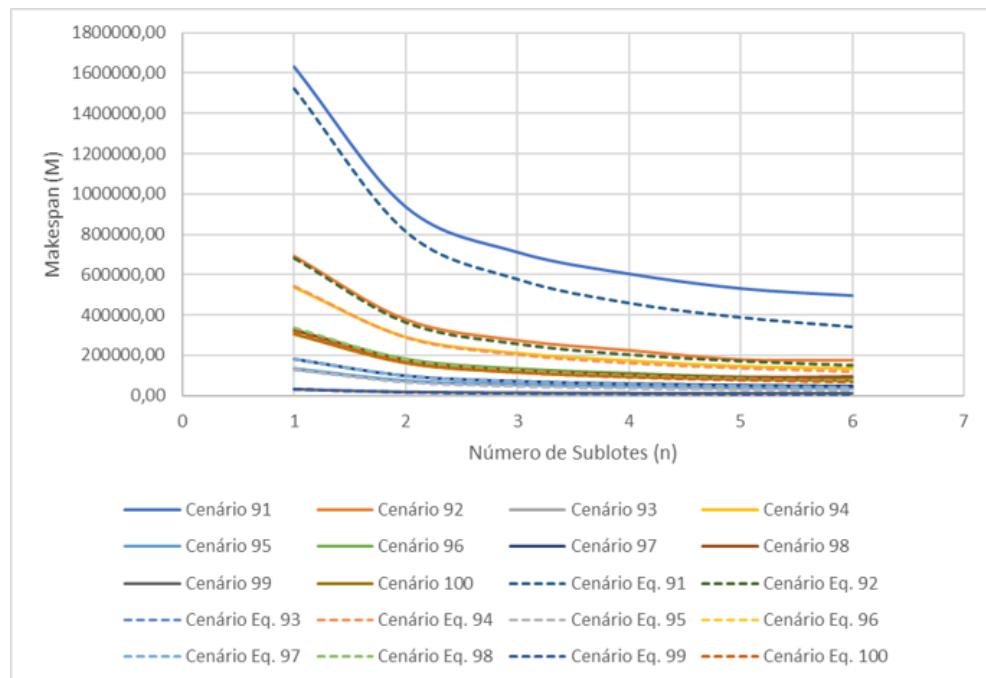


Figura 112: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 50% do 91 ao 100

## R Apêndice - Comparação dos *Makespan* dos cenários com 15 máquinas e variação de até 70%

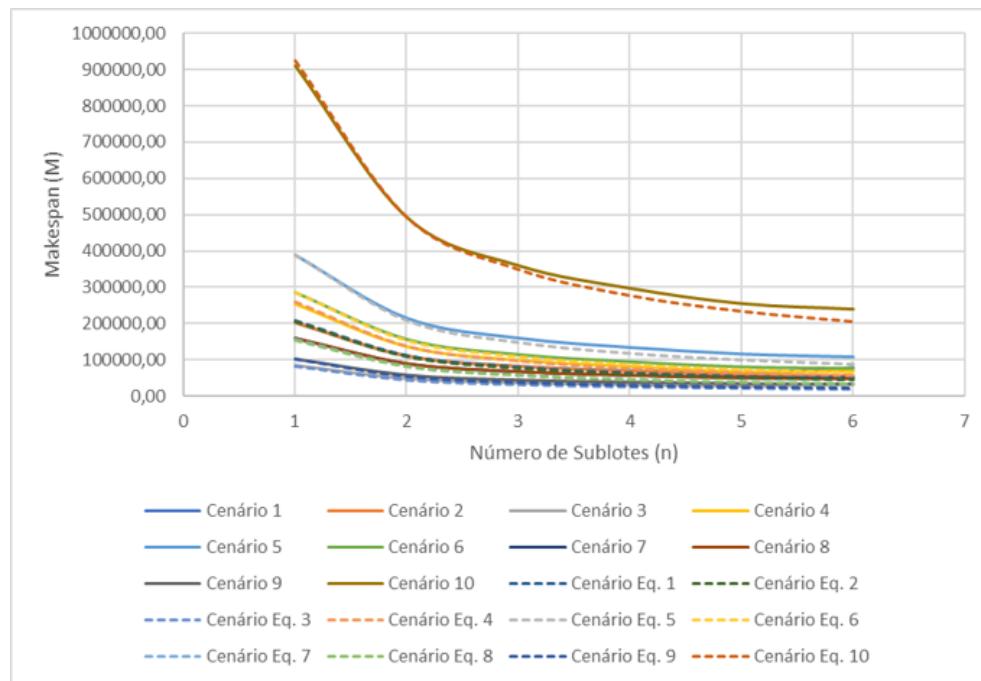


Figura 113: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 01 ao 10

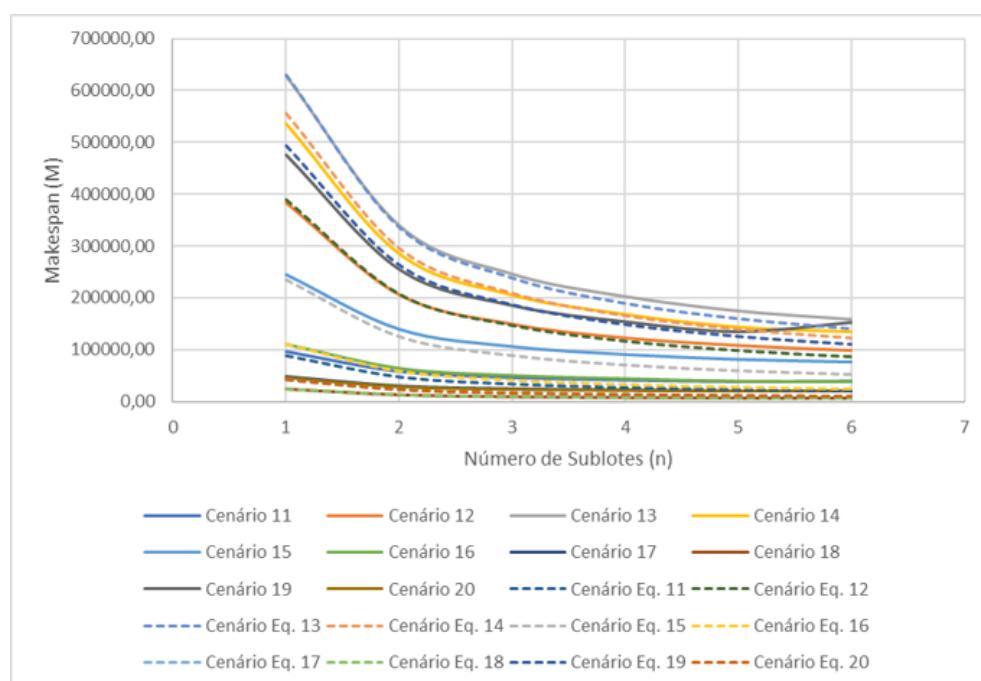


Figura 114: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 11 ao 20

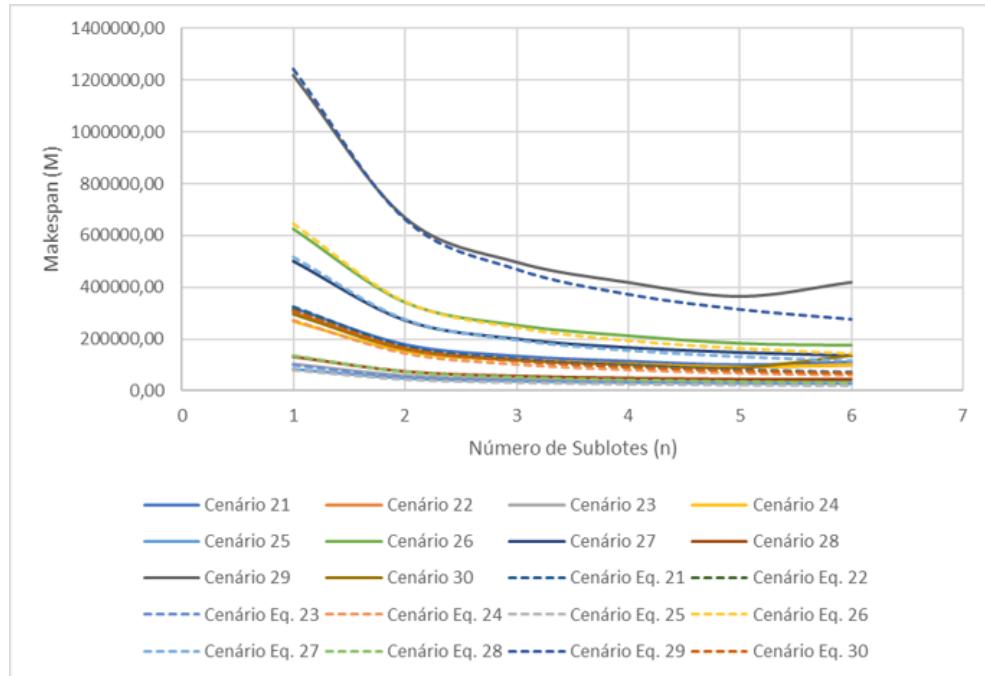


Figura 115: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 21 ao 30

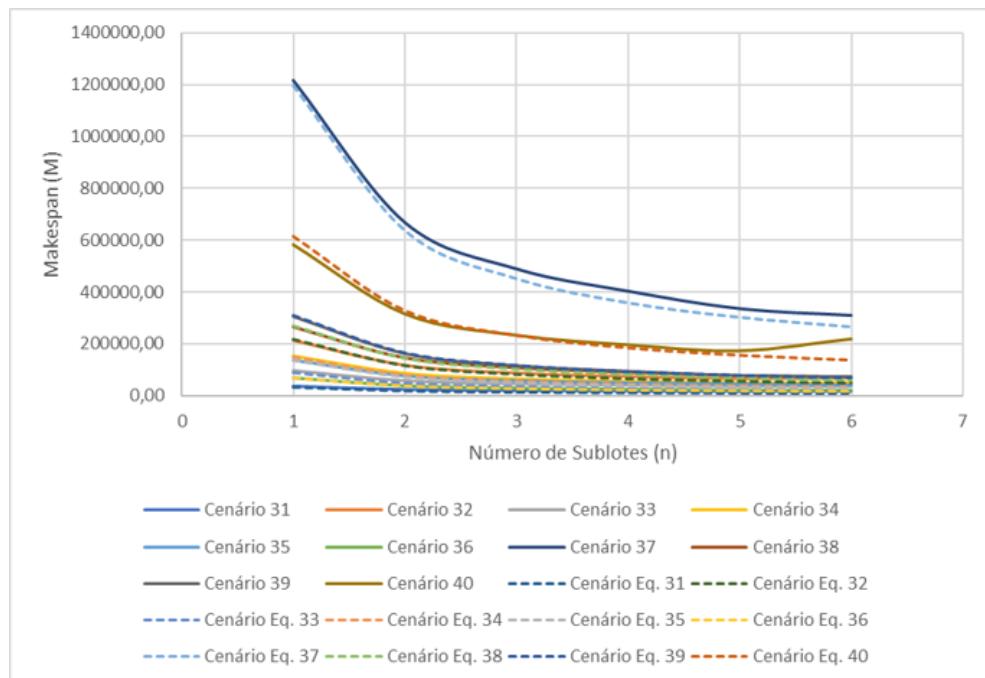


Figura 116: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 31 ao 40

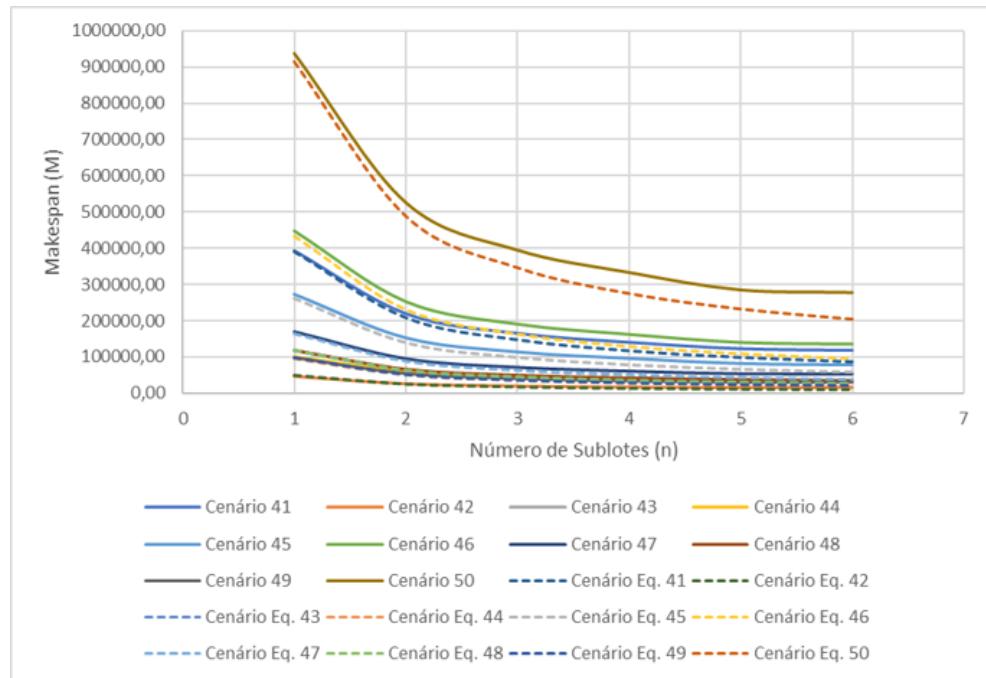


Figura 117: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 41 ao 50

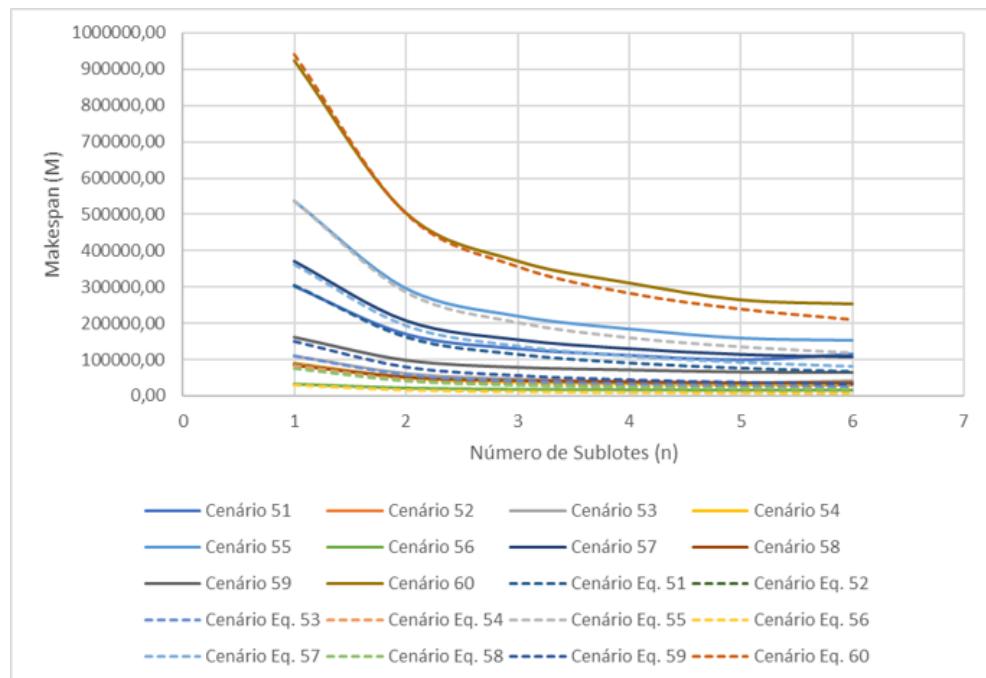


Figura 118: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 51 ao 60

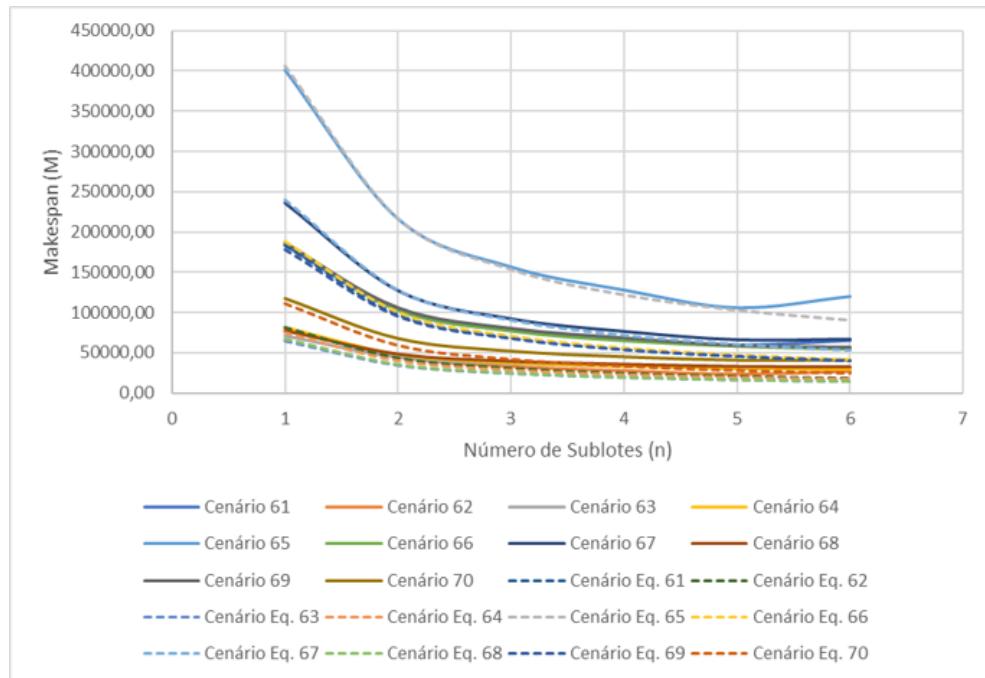


Figura 119: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 61 ao 70

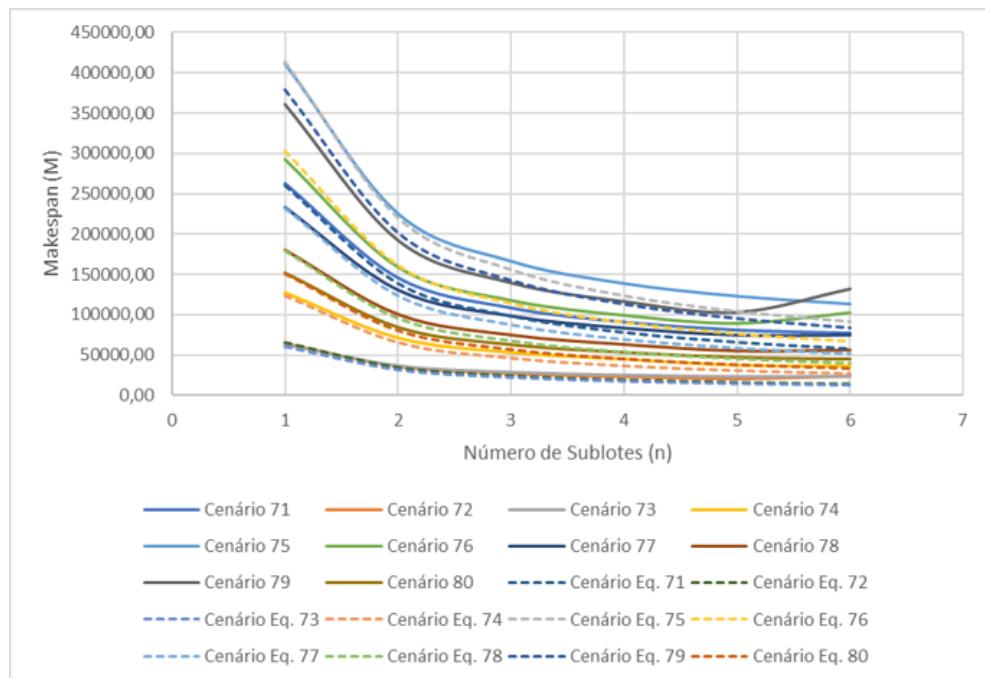


Figura 120: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 71 ao 80

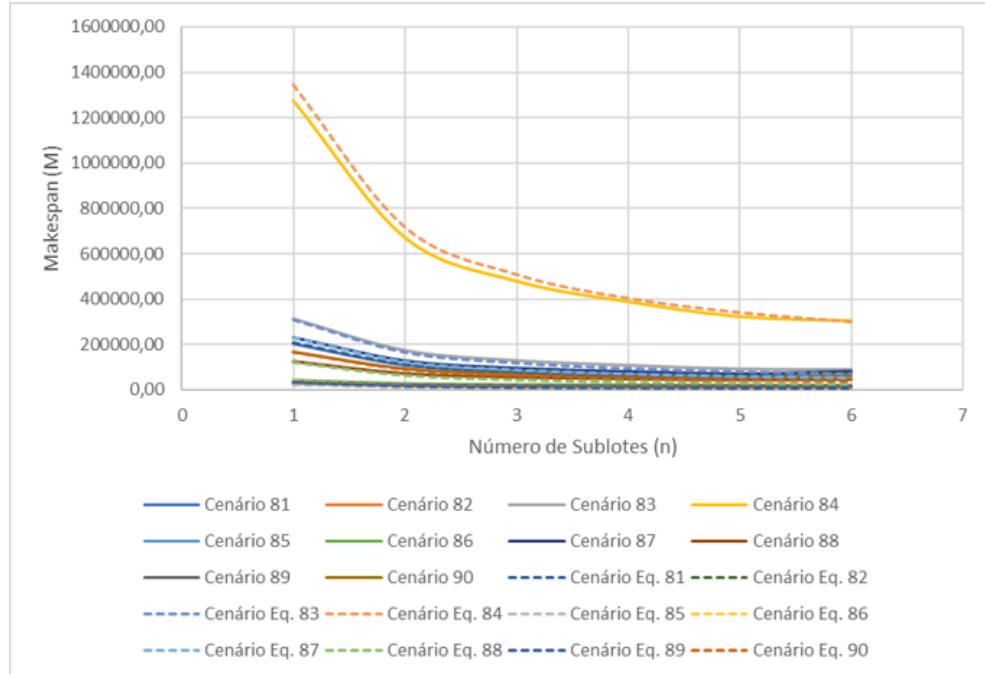


Figura 121: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 81 ao 90

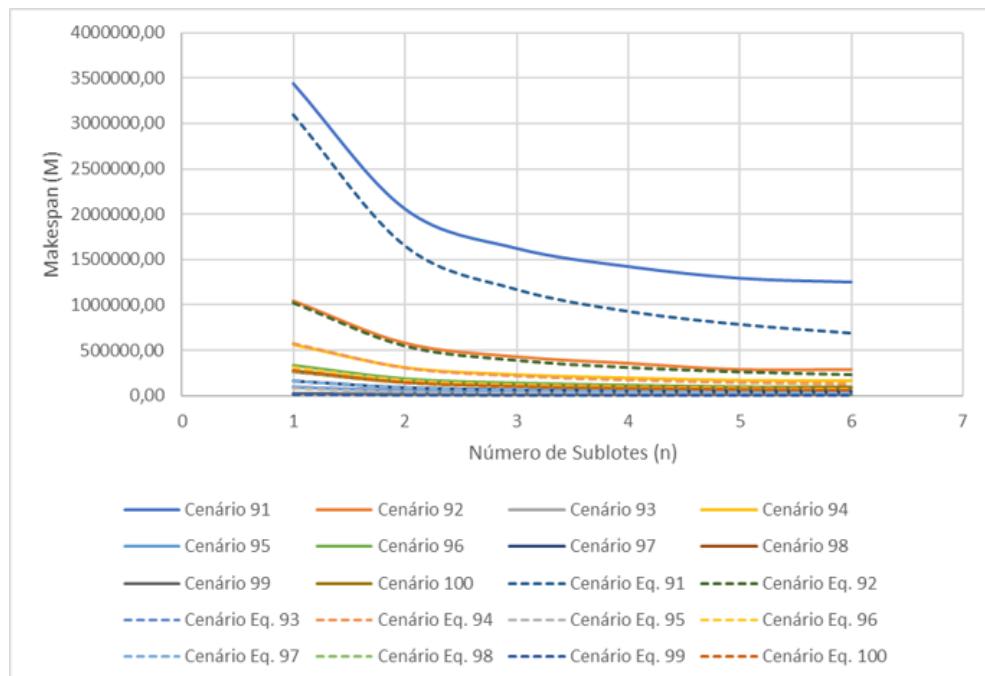


Figura 122: *Makespan* dos cenários 15 máquinas e 70% do 91 ao 100