



**Universidade do Minho**

Departamento de Produção e Sistemas

# **Balanceamento de Linhas de Produção**

2016 / 2017

Trabalho feito por: David Alves A79625

Joel Santos A78589

MIETI

## Introdução

Com a elaboração deste projeto poderemos saber qual a melhor forma, ou seja a mais rentável, de organizar as várias funções das linhas de montagem de uma empresa para o fabrico de determinado produto, neste caso “XCAR420c”. Para isso iremos usar vários modelos em GMPL, cada um com uma diferente função objetivo, para o primeiro modelo, o objetivo é, Minimizar “ $T_{max} = \max(T_i)$ ”, para o segundo modelo, “Maximizar  $DT = \max(T_i) - \min(T_i)$ ”, para o terceiro modelo o objetivo é, “Minimizar Numero de trocas de operadores”, modelos estes que se encontram anexados a este projeto. Depois disto ainda teremos a oportunidade de ver a tabela, também esta anexada a este projeto, na qual se poderá observar a organização dos dados obtidos após a execução dos modelos no Neos-Server.

## Fase I – Problema de Afetação Generalizado- Operações a Operadores

Nesta fase pretende-se que seja efetuada a atribuição de operações aos operadores de tal modo que uma operação é atribuída um único operador, e será realizada num posto de trabalho.

De acordo com os resultados obtidos em todos os modelos verifica-se que:

O TCT (Target Cycle Time, intervalo de tempo (em segundos) que resulta do efeito do OEE sobre o Takt-Time) varia entre 49,4 segundos e 82,26 segundos.

O número de colaboradores é de 7(para 300 a e b), 10(para 435 a e b), 11(para 500 a e b).

O Takt-Time (tempo de espera por número de dispositivos) varia de 54,8 segundos a 91,4 segundos.

### 1º modelo

Minimizar  $T_{max} = \max(T_i)$

| Objective Function |  | 300a) | 300b) | 435a) | 435b) | 500a) | 500b) |
|--------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Minimize Tmax      | Metrics for instance                       |       |       |       |       |       |       |
|                    | TCT  | 82,26 | 82,26 | 56,7  | 56,7  | 49,4  | 49,4  |
|                    | N_Colab                                    | 7     | 7     | 10    | 10    | 11    | 11    |
|                    | TackTime (ShiftTime/NumberDivices)         | 91,4  | 91,4  | 63,0  | 63,0  | 54,8  | 54,8  |
|                    | Metrics for Operators                      |       |       |       |       |       |       |
|                    | var TPC(k in K)                            |       | N     |       |       |       |       |
|                    | max  | 72,1  | 72,1  | 50,5  | 50,5  | 45,9  | 46    |
|                    | average                                    | 72,07 | 72,07 | 50,45 | 50,45 | 45,86 | 45,88 |
|                    | min  | 72    | 72    | 50,3  | 50,3  | 45,7  | 45,1  |
|                    | count_numberOperations_perOperator         |       |       |       |       |       |       |
|                    | max  | 24    | 29    | 20    | 21    | 16    | 21    |
|                    | average                                    | 20,71 | 20,71 | 14,5  | 16,14 | 13,18 | 14,85 |
|                    | min  | 11    | 16    | 10    | 7     | 11    | 9     |
|                    | Count_numberWorkStations_perOperator       |       |       |       |       |       |       |
|                    | max  | 11    | 11    | 10    | 12    | 10    | 8     |
|                    |  | 9,28  | 7,85  | 7,3   | 8     | 8,23  | 5,45  |
|                    | min  | 8     | 5     | 3     | 5     | 7     | 3     |
|                    | Metrics for WorkStation                    |       |       |       |       |       |       |
|                    | Count_numberOperators_perWorkStation       |       |       |       |       |       |       |
|                    | max  | 7     | 7     | 10    | 10    | 11    | 11    |
|                    | average                                    | 3     | 2,5   | 3,63  | 3,68  | 4,09  | 2,68  |
|                    | min  | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     |
|                    | Metrics for ProductionCell                 |       |       |       |       |       |       |
|                    | Count_number_ChangesOperatorsInTheSequence | 128   | 130   | 125   | 130   | 133   | 127   |

### -Para 300 a)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 72,1 segundos, o tempo mínimo é de 72 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 24, o mínimo é de 11 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 11, a média é de 9,28 e o mínimo é de 8. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 3 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 128.

**-Para 300 b)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 72,1 segundos, o tempo mínimo é de 72 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 29, o mínimo é de 16 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 11, a média é de 7,85 e o mínimo é de 5. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 2,5 e o mínimo é de 0. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 130.

**-Para 435 a)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 50,5 segundos, o tempo mínimo é de 50,3 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 20, o mínimo é de 10 e a média é de 14,5. O número máximo de postos por operador é de 10, a média é de 7,3 e o mínimo é de 3. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 10, a média é de 3,63 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 125.

**-Para 435 b)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 50,5 segundos, o tempo mínimo é de 50,3 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 21, o mínimo é de 7 e a média é de 16,14. O número máximo de postos por operador é de 12, a média é de 8 e o mínimo é de 5. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 10, a média é de 3,68 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 130.

**-Para 500 a)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 45,9 segundos, o tempo mínimo é de 45,7 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 16, o mínimo é de 11 e a média é de 13,18. O número máximo de postos por operador é de 10, a média é de 8,23 e o mínimo é de 7. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 11, a média é de 4,09 e o mínimo é de 0. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 133.

**-Para 500 b)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46 segundos, o tempo mínimo é de 45,1 segundos, e a média é de 45,88. O número máximo de operações por cada operador é 21, o mínimo é de 9 e a média é de 14,85. O número máximo de postos por operador é de 8, a média é de 5,45 e o mínimo é de 3. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 11, a média é de 2,68 e o mínimo é de 0. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 133.

## 2º modelo

Maximizar  $DT = \text{Max}(Ti) - \text{Min}(Ti)$

|  |                                      | 300a)  | 300b)  | 435a) | 435b) | 500a) | 500b) |
|--|--------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Maximize $\text{Diff}(PCT - \min(TPC[k \text{ in } K]))$ | Metrics for instance                 |        |        |       |       |       |       |
|  | PCT                                  | 82,26  | 82,26  | 56,7  | 56,7  | 49,4  | 49,4  |
|  | N_Colab                              | 7      | 7      | 10    | 10    | 11    | 11    |
|  | TaktTime (ShiftTime/NumberDivices)   | 91,4   | 91,4   | 63,0  | 63,0  | 54,8  | 54,8  |
|  | Metrics for Operators                |        |        |       |       |       |       |
|  | var TPC[k in K]                      |        |        |       |       |       |       |
|  | max                                  | 78,1   | 78,1   | 53,8  | 53,8  | 46,8  | 46,8  |
|  | average                              | 71,067 | 71,067 | 50,45 | 50,45 | 45,86 | 45,86 |
|  | min                                  | 35,9   | 35,9   | 20,3  | 20,3  | 36,5  | 36,5  |
|  | count_numberOperations_perOperator   |        |        |       |       |       |       |
|  | max                                  | 37     | 37     | 28    | 29    | 26    | 21    |
|  | average                              | 20,71  | 20,71  | 14,5  | 14,5  | 13,18 | 13,18 |
|  | min                                  | 6      | 5      | 4     | 7     | 6     | 5     |
|  | Count_numberWorkStations_perOperator |        |        |       |       |       |       |
|  | max                                  | 12     | 13     | 12    | 12    | 10    | 13    |
|  | average                              | 8,71   | 9,57   | 6,7   | 7,2   | 7,4   | 7,1   |
|  | min                                  | 6      | 5      | 3     | 4     | 4     | 3     |
|  | Metrics for WorkStation              |        |        |       |       |       |       |
|  | Count_numberOperators_perWorkStation |        |        |       |       |       |       |
|  | max                                  | 7      | 7      | 9     | 10    | 11    | 8     |
|  | average                              | 2,95   | 3,18   | 3,04  | 3,27  | 3,63  | 4,68  |
|  | min                                  | 0      | 1      | 0     | 1     | 0     | 1     |

### -Para 300 a)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 78,1 segundos, o tempo mínimo é de 35,9 segundos, e a média é de 71,067. O número máximo de operações por cada operador é 37, o mínimo é de 6 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 12, a média é de 8,71 e o mínimo é de 6. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 2,35 e o mínimo é de 0. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 121.

### -Para 300 b)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 78,1 segundos, o tempo mínimo é de 35,9 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 37, o mínimo é de 5 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 13, a média é de 9,57 e o mínimo é de 5. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 3,18 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 113.

### -Para 435 a)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 53,8 segundos, o tempo mínimo é de 20,3 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 28, o mínimo é de 4 e a média é de 14,5. O número máximo de postos por operador é de 12, a média é de 6,7 e o mínimo é de 3. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 9, a média é de 3,04 e o mínimo é de 0. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 124.

**-Para 435 b)**

Para umTCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 53,8 segundos, o tempo mínimo é de 20,3 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 29, o mínimo é de 7 e a média é de 14,5. O número máximo de postos por operador é de 12, a média é de 7,2 e o mínimo é de 4. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 10, a média é de 3,27 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 132.

**-Para 500 a)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46,8 segundos, o tempo mínimo é de 36,5 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 26, o mínimo é de 6 e a média é de 13,18. O número máximo de postos por operador é de 10, a média é de 7,4 e o mínimo é de 4. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 11, a média é de 3,63 e o mínimo é de 0. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 125.

**-Para 500 b)**

Para umTCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46,8 segundos, o tempo mínimo é de 36,5 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 21, o mínimo é de 5 e a média é de 13,18. O número máximo de postos por operador é de 13, a média é de 7,1 e o mínimo é de 3. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 8, a média é de 4,68 e o mínimo é de 0. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 132.

### 3º modelo

Minimizar Numero de trocas de operadores. Considera-se que há uma troca de operador quando a operação(i) e a operação(i+1) são executadas por operadores diferentes.

|                                       |  | 300a) | 300b) | 435a) | 435b) | 500a) | 500b) |
|---------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Minimization number_ChangesOperations | Metrics for instance                       |       |       |       |       |       |       |
|                                       | PCT  | 82,26 | 82,26 | 56,7  | 56,7  | 49,4  | 49,4  |
|                                       | N_Colab                                    | 7     | 7     | 10    | 10    | 11    | 11    |
|                                       | TaktTime (ShiftTime/NumberDivices)         | 91,4  | 91,4  | 63,0  | 63,0  | 54,8  | 54,8  |
|                                       | Metrics for Operators                      |       |       |       |       |       |       |
|                                       | var TPC(k in K) max                        | 78    | 77,4  | 53,8  | 53,8  | 46,8  | 46,8  |
|                                       | average                                    | 72,07 | 72,07 | 50,45 | 50,45 | 45,86 | 45,86 |
|                                       | min  | 63,9  | 60    | 41,5  | 38,3  | 44,7  | 43,7  |
|                                       | count_numberOperations_perOperator max     | 27    | 25    | 18    | 26    | 18    | 19    |
|                                       | average                                    | 20,71 | 20,71 | 14,5  | 14,5  | 13,18 | 13,09 |
|                                       | min  | 15    | 17    | 11    | 11    | 9     | 9     |
|                                       | Count_numberWorkStations_perOperator max   | 12    | 11    | 12    | 10    | 10    | 12    |
|                                       | average                                    | 10    | 9,86  | 8,9   | 8     | 7,18  | 7,9   |
|                                       | min  | 8     | 9     | 5     | 6     | 4     | 5     |
|                                       | Metrics for WorkStation                    |       |       |       |       |       |       |
|                                       | Count_numberOperators_perWorkStation max   | 7     | 7     | 10    | 10    | 11    | 11    |
|                                       | average                                    | 3,13  | 3,16  | 4,13  | 4,18  | 3,54  | 3,95  |
|                                       | min  | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     |
|                                       | Metrics for ProductionCell                 |       |       |       |       |       |       |
|                                       | Count_number_ChangesOperatorsInTheSequence | 6     | 6     | 9     | 10    | 12    | 15    |

#### -Para 300 a)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 78 segundos, o tempo mínimo é de 63,9 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 27, o mínimo é de 15 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 12, a média é de 10 e o mínimo é de 8. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 3,13 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 6.

#### -Para 300 b)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 77,4 segundos, o tempo mínimo é de 60 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 25, o mínimo é de 17 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 11, a média é de 9,86 e o mínimo é de 9. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 3,16 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 6.

#### -Para 435 a)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 53,8 segundos, o tempo mínimo é de 41,5 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por

cada operador é 18, o mínimo é de 11 e a média é de 14,5. O número máximo de postos por operador é de 12, a média é de 8,9 e o mínimo é de 5. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 10, a média é de 4,13 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 9.

**-Para 435 b)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 53,8 segundos, o tempo mínimo é de 41,5 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 26, o mínimo é de 11 e a média é de 14,5. O número máximo de postos por operador é de 10, a média é de 8 e o mínimo é de 6. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 10, a média é de 4,18 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 10.

**-Para 500 a)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46,8 segundos, o tempo mínimo é de 44,7 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 18, o mínimo é de 9 e a média é de 13,18. O número máximo de postos por operador é de 10, a média é de 7,18 e o mínimo é de 4. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 11, a média é de 3,54 e o mínimo é de 0. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 12.

**-Para 500 b)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46,8 segundos, o tempo mínimo é de 43,7 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 19, o mínimo é de 9 e a média é de 13,09. O número máximo de postos por operador é de 12, a média é de 7,9 e o mínimo é de 5. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 11, a média é de 3,95 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 15.



## Fase II – Problema de Afetação Generalizado- Operações, Postos de Trabalho e Operadores

Na Fase II pretende-se estudar o mesmo problema de afetação de operações na linha de montagem aos operadores, considerando que é necessário respeitar a ordem das operações e os postos onde são executadas.

### 4º modelo

Minimizar  $T_{max} = \max(T_i)$

| Objective Function |  | 300a) | 300b) | 435a) | 435b) | 500a) | 500b) |
|--------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Minimize $T_{max}$ | Metrics for instance                       |       |       |       |       |       |       |
|                    | TCT  | 82,26 | 82,26 | 56,7  | 56,7  | 49,4  | 49,4  |
|                    | N_Colab                                    | 7     | 7     | 10    | 10    | 11    | 11    |
|                    | TackTime (ShiftTime/NumberDivices)         | 91,4  | 91,4  | 63,0  | 63,0  | 54,8  | 54,8  |
|                    | Metrics for Operators                      |       |       |       |       |       |       |
|                    | var TPC[k in K] max                        | 72,1  | 72,1  | 50,5  | 50,5  | 45,9  | 46    |
|                    | average                                    | 72,07 | 72,07 | 50,45 | 50,45 | 45,86 | 45,88 |
|                    | min  | 72    | 72    | 50,3  | 50,3  | 45,7  | 45,1  |
|                    | count_numberOperations_perOperator max     | 25    | 37    | 21    | 21    | 37    | 35    |
|                    | average                                    | 20,71 | 20,71 | 14,5  | 14,5  | 13,18 | 13,18 |
|                    | min  | 14    | 15    | 8     | 7     | 8     | 7     |
|                    | Count_numberWorkStations_perOperator max   | 15    | 17    | 11    | 14    | 13    | 16    |
|                    | average                                    | 12,71 | 13,29 | 9,2   | 9,9   | 9     | 9,36  |
|                    | min  | 10    | 11    | 5     | 5     | 6     | 5     |
|                    | Metrics for WorkStation                    |       |       |       |       |       |       |
|                    | Count_numberOperators_perWorkStation max   | 7     | 8     | 7     | 7     | 9     | 8     |
|                    | average                                    | 3,95  | 4,22  | 4,18  | 4,41  | 4,45  | 4,77  |
|                    | min  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                    | Metrics for ProductionCell                 |       |       |       |       |       |       |
|                    | Count_number_ChangesOperatorsInTheSequence | 115   | 128   | 128   | 127   | 123   | 130   |

### -Para 300 a)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 72,1 segundos, o tempo mínimo é de 72 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 25, o mínimo é de 14 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 15, a média é de 12,71 e o mínimo é de 10. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 3,95 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 115.

### -Para 300 b)

Para umTCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 72,1 segundos, o tempo mínimo é de 72 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 37, o mínimo é de 15 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 17, a média é de 13,29 e o mínimo é de 11. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 8, a média é de 4,22 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 128.

**-Para 435 a)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 50,5 segundos, o tempo mínimo é de 50,3 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 21, o mínimo é de 8 e a média é de 14,5. O número máximo de postos por operador é de 11, a média é de 9,2 e o mínimo é de 5. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 4,18 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 128.

**-Para 435 b)**

Para umTCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 50,5 segundos, o tempo mínimo é de 50,3 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 21, o mínimo é de 7 e a média é de 14,5. O número máximo de postos por operador é de 11, a média é de 9,2 e o mínimo é de 5. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 4,41 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 127.

**-Para 500 a)**

Para umTCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 45,9 segundos, o tempo mínimo é de 45,7 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 37, o mínimo é de 8 e a média é de 13,18. O número máximo de postos por operador é de 13, a média é de 9 e o mínimo é de 6. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 9, a média é de 4,45 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 123.

**-Para 500 b)**

Para umTCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46 segundos, o tempo mínimo é de 45,1 segundos, e a média é de 45,88. O número máximo de operações por cada operador é 35, o mínimo é de 7 e a média é de 13,18. O número máximo de postos por operador é de 16, a média é de 9,36 e o mínimo é de 5. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 8, a média é de 4,77 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 130.

## 5º modelo

Maximizar  $DT = \text{Max}(Ti) - \text{Min}(Ti)$ ;

| Maximize Diff(PCT-min[TPC(k in K)]) |  | 300a) | 300b) | 435a) | 435b) | 500a) | 500b) |
|-------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Metrics for instance                |  |       |       |       |       |       |       |
|                                     | TCT  | 82,26 | 82,26 | 56,7  | 56,7  | 49,4  | 49,4  |
|                                     | N_Colab                                    | 7     | 7     | 10    | 10    | 11    | 11    |
|                                     | TackTime (ShiftTime/NumberDivices)         | 91,4  | 91,4  | 63,0  | 63,0  | 54,8  | 54,8  |
| Metrics for Operators               |  |       |       |       |       |       |       |
|                                     | var TPC[k in K]                            |       |       |       |       |       |       |
|                                     | max  | 78,1  | 78,1  | 53,8  | 53,8  | 46,88 | 46,88 |
|                                     | average                                    | 72,07 | 72,07 | 50,45 | 50,45 | 45,86 | 45,86 |
|                                     | min  | 35,9  | 35,9  | 20,3  | 20,3  | 36,5  | 36,5  |
|                                     | count_numberOperations_perOperator         |       |       |       |       |       |       |
|                                     | max  | 43    | 51    | 34    | 30    | 22    | 22    |
|                                     | average                                    | 20,71 | 20,71 | 14,5  | 14,5  | 13,18 | 13,18 |
|                                     | min  | 10    | 4     | 3     | 5     | 6     | 7     |
|                                     | Count_numberWorkStations_perOperator       |       |       |       |       |       |       |
|                                     | max  | 18    | 15    | 14    | 13    | 12    | 12    |
|                                     | average                                    | 12,14 | 10,86 | 9     | 9,1   | 9     | 9,36  |
|                                     | min  | 8     | 4     | 2     | 5     | 6     | 6     |
| Metrics for WorkStation             |  |       |       |       |       |       |       |
|                                     | Count_numberOperators_perWorkStation       |       |       |       |       |       |       |
|                                     | max  | 7     | 6     | 8     | 7     | 7     | 8     |
|                                     | average                                    | 3,9   | 3,45  | 4,09  | 4,13  | 4,5   | 4,68  |
|                                     | min  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Metrics for ProductionCell          |  |       |       |       |       |       |       |
|                                     | Count_number_ChangesOperatorsInTheSequence | 123   | 109   | 120   | 127   | 130   | 129   |

### -Para 300 a)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 72,1 segundos, o tempo mínimo é de 35,9 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 43, o mínimo é de 10 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 18, a média é de 12,14 e o mínimo é de 8. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 3,9 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 123.

### -Para 300 b)

Para umTCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 72,1 segundos, o tempo mínimo é de 35,9 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 51, o mínimo é de 4 e a média é de 20,71.O número máximo de postos por operador é de 15, a média é de 10,86 e o mínimo é de 4. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 6, a média é de 3,45 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 109.

**-Para 435 a)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 53,8 segundos, o tempo mínimo é de 20,3 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 34, o mínimo é de 3 e a média é de 14,5. O número máximo de postos por operador é de 14, a média é de 9 e o mínimo é de 2. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 8, a média é de 4,09 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 120.

**-Para 435 b)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 53,8 segundos, o tempo mínimo é de 20,3 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 30, o mínimo é de 5 e a média é de 14,5. O número máximo de postos por operador é de 13, a média é de 9,1 e o mínimo é de 5. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 4,13 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 127.

**-Para 500 a)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46,88 segundos, o tempo mínimo é de 36,5 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 22, o mínimo é de 6 e a média é de 13,18. O número máximo de postos por operador é de 12, a média é de 9 e o mínimo é de 6. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 7, a média é de 4,5 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 130.

**-Para 500 b)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46,88 segundos, o tempo mínimo é de 36,5 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 22, o mínimo é de 7 e a média é de 13,18. O número máximo de postos por operador é de 12, a média é de 9,36 e o mínimo é de 6. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 8, a média é de 4,68 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 129.

## 6º modelo

Minimizar Numero de trocas de operadores. Considera-se que há uma troca de operador quando a operação(i) e a operação(i+1) são executadas por operadores diferentes.

|                                       |  | 300a) | 300b) | 435a) | 435b) | 500a) | 500b) |
|---------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Minimization number_ChangesOperations | Metrics for instance                       |       |       |       |       |       |       |
|                                       | TCT  | 82,26 | 82,26 | 56,7  | 56,7  | 49,4  | 49,4  |
|                                       | N_Colab                                    | 7     | 7     | 10    | 10    | 11    | 11    |
|                                       | TackTime (ShiftTime/NumberDivices)         | 91,4  | 91,4  | 63,0  | 63,0  | 54,8  | 54,8  |
|                                       | Metrics for Operators                      |       |       |       |       |       |       |
|                                       | var TPC(Ik in K)                           |       |       |       |       |       |       |
|                                       | max  | 78,1  | 78,1  | 53,8  | 53,8  | 46,7  | 46,7  |
|                                       | average                                    | 72,07 | 72,07 | 50,45 | 50,45 | 45,86 | 45,86 |
|                                       | min  | 66,5  | 66,5  | 41,5  | 45,1  | 43,7  | 43,7  |
|                                       | count_numberOperations_perOperator         |       |       |       |       |       |       |
|                                       | max  | 28    | 25    | 37    | 31    | 43    | 39    |
|                                       | average                                    | 20,71 | 20,71 | 16,11 | 16,11 | 16,11 | 16,11 |
|                                       | min  | 15    | 15    | 10    | 11    | 9     | 10    |
|                                       | Count_numberWorkStations_perOperator       |       |       |       |       |       |       |
|                                       | max  | 6     | 7     | 7     | 5     | 9     | 8     |
|                                       | average                                    | 4     | 3,85  | 3,77  | 3,22  | 3,88  | 3,55  |
|                                       | min  | 3     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     |
|                                       | Metrics for WorkStation                    |       |       |       |       |       |       |
|                                       | Count_numberOperators_perWorkStation       |       |       |       |       |       |       |
|                                       | max  | 2     | 2     | 3     | 2     | 4     | 3     |
|                                       | average                                    | 1,22  | 1,27  | 1,5   | 1,31  | 2,83  | 1,4   |
|                                       | min  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                                       | Metrics for ProductionCell                 |       |       |       |       |       |       |
|                                       | Count_number_ChangesOperatorsInTheSequence | 6     | 6     | 9     | 10    | 15    | 13    |

### -Para 300 a)

Para um TCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 76,1 segundos, o tempo mínimo é de 66,5 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 28, o mínimo é de 15 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 6, a média é de 4 e o mínimo é de 3. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 2, a média é de 1,22 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 6.

### -Para 300 b)

Para umTCT (Target Cycle Time), de 82,86 e para um nº de colaboradores de 7 colaboradores e para um Takt-Time de 91,4, o tempo máximo para o fabrico desse modelo é 76,1 segundos, o tempo mínimo é de 66.5 segundos, e a média é de 72,07. O número máximo de operações por cada operador é 25, o mínimo é de 15 e a média é de 20,71. O número máximo de postos por operador é de 7, a média é de 3,85 e o mínimo é de 2. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 2, a média é de 1,27 e o mínimo é de 1. Quanto ao número de trocas entre operadores este é de 6.

**-Para 435 a)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 53,8 segundos, o tempo mínimo é de 41,5 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 37, o mínimo é de 10 e a média é de 16,11. O número máximo de postos por operador é de 7, a média é de 3,77 e o mínimo é de 2. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 3, a média é de 1, e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 9.

**-Para 435 b)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 56,7 e para um nº de colaboradores de 10 colaboradores e para um Takt-Time de 63,0. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 53,8 segundos, o tempo mínimo é de 45,1 segundos, e a média é de 50,45. O número máximo de operações por cada operador é 31, o mínimo é de 11 e a média é de 16,11. O número máximo de postos por operador é de 5, a média é de 3,22 e o mínimo é de 2. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 2, a média é de 1,31 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 10.

**-Para 500 a)**

Para um TCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46,7 segundos, o tempo mínimo é de 43,7 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 43, o mínimo é de 9 e a média é de 16,11. O número máximo de postos por operador é de 9 a média é de 3,88 e o mínimo é de 2. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 4, a média é de 2,83 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 15.

**-Para 500 b)**

Para umTCT (Target Cycle Time), de 49,4 e para um nº de colaboradores de 11 colaboradores e para um Takt-Time de 54,8. O tempo máximo para o fabrico desse modelo é 46,7 segundos, o tempo mínimo é de 43,7 segundos, e a média é de 45,86. O número máximo de operações por cada operador é 39, o mínimo é de 10 e a média é de 16,11. O número máximo de postos por operador é de 8, a média é de 3,55 e o mínimo é de 2. Em relação aos postos o número máximo de operadores por posto é de 3, a média é de 1,4 e o mínimo é de 1. Quanto ao numero de trocas entre operadores este é de 13.

# Fase III – Problema de Afetação Generalizado-Operações, Postos de Trabalho e Operadores – Solução Heurística

## Para 1º modelo

Minimizar  $T_{max} = \max(T_i)$

$max=0;$

$N=0;$

Ler  $T_i$ ;

Se  $T_i > N$

$T_i = max;$

Senão

Ler  $T_i$ ;

A função objetivo consiste em minimizar o valor máximo de  $T_i$ .

## Para 2º modelo

Maximizar  $DT = \max(T_i) - \min(T_i);$

$max=0;$

$min=0;$

$N=0;$

Ler  $T_i$ ;

Se  $T_i > N$

$T_i = max;$

Senão

    Ler  $T_i$ ;

Se  $T_i < N$

$T_i = min;$

Senão

    Ler  $T_i$ ;

$DT = max - min;$

A função objetivo consiste em maximizar esta diferença ( $DT = max - min$ ) entre o maior valor de  $T_i$  e o menor valor de  $T_i$ .

Para 3º modelo

Minimizar Numero de trocas de operadores. Considera-se que há uma troca de operador quando a operação(i) e a operação(i+1) são executadas por operadores diferentes.

*Sendo k o vetor do nº de operadores*

Conta=0;

Se k != k+1

    Conta++;

Senão

Conta=conta+0

A função objetivo consiste em minimizar o conta(ou seja o nº de trocas de operadores)



## Conclusão

Com este projeto pudemos experienciar de uma forma muito mais prática aqueles conhecimentos que adquirimos nas aulas teóricas, verificámos também que a programação em GMPL pode ser muito útil não só para aplicações práticas no dia-a-dia, como também na gestão empresarial.

Vimos ainda como programar determinado modelo para que ele corresponde às exigências pedidas, e ainda acrescentamos que foi uma experiência além de instrutiva e apelativa, certamente que nos será muito útil para aplicações futuras.