

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será feito um estudo da linha montagem de viaturas do PqRMnt/1, onde os caminhões eram repotencializados. Entende-se por repotencialização a modificação nas características originais em vários sistemas da viatura, como por exemplo, a troca do motor à gasolina por um motor à diesel, a transformação do sistema de freio hidráulico por um sistema misto pneumático e hidráulico, mudança no sistema elétrico e outros conjuntos.

4.1 A linha de Manutenção Caminhões

Embora, atualmente, por questões orçamentárias, a linha de montagem do PqRMnt/1 esteja desativada, os resultados alcançados pela simulação deste sistema servirão de base para uma futura ativação da mesma e para a criação de uma metodologia de planejamento para outras linhas de manutenção em OM do EB.

Na linha de montagem do PqRMnt/1 a viatura percorria um circuito de oficinas até chegar à inspeção final onde a qualidade dos serviços feitos era aferida. Caso alguma viatura apresentasse defeito(s), uma equipe multifuncional os reparava. O percentual estimado de viaturas que apresentava algum tipo de defeito ficava em torno de 20%.

As viaturas repotencializadas pela linha de montagem do PqRMnt/1 são altamente utilizadas por tropas operacionais do EB para missões e treinamento, o que torna sua indisponibilidade um grande problema para a organização militar a que pertence. Daí surge a necessidade de um maior planejamento da linha de produção para que as OM fiquem o menor tempo possível sem suas viaturas. Sem uma ferramenta de apoio à decisão, como a simulação computacional há dificuldades de se dimensionar a produção e os recursos materiais e orçamentários necessários.

O trabalho, inicialmente, consistiria coleta dos tempos de serviço das oficinas, mas como não há registros destes no PqRMnt/1, optou-se por utilizar as

distribuições de probabilidades teóricas Uniforme e Triangular para ajustar os tempos de serviço nas oficinas. Caso, a linha de montagem venha a ser ativada, estas poderão ser substituídas por distribuições de probabilidades reais obtidas por meio da análise dos dados coletados.

Cabe ressaltar que este processo de maneira alguma invalida o trabalho, pois o que se objetiva é, criar uma metodologia de planejamento que sirva não só para a organização militar em estudo, mas para outras que fazem parte do sistema de manutenção do EB.

O tempo de deslocamento entre as oficinas foi estipulado, por experiência do autor, em 30 minutos. Foi considerado, neste estudo, que o lote de caminhões chega de uma só vez na linha de montagem e percorre as oficinas em um sistema de linha cuja a disciplina da fila é *FIFO*.

A simulação consistiu em fazer com que lotes pré-estabelecidos de caminhões percorressem as oficinas com o objetivo principal de determinar a quantidade máxima suportada pela linha de montagem, a taxa de ocupação de cada oficina e o tempo médio de trânsito dos caminhões pelo sistema. Estimou-se um período de aproximadamente seis meses de trabalho, com vinte e dois dias mensais e um turno diário de 8 horas.

Como foi usada a versão *Training* do ARENA, que impõe muitas limitações, foi necessário reduzir o número de estações de trabalho para que se pudesse rodar as simulações e fazer os ajustes necessários.

As seguintes oficinas fizeram parte do modelo construído para simular a linha de montagem do PqRMnt/1: oficina de freio, oficina de caixa de marcha, oficina elétrica, oficina de motores, oficina de lanternagem e oficina de pintura.

Foi construído um modelo representado em um *ACD*, que é apresentado na Figura 10, para representar a linha de montagem de viaturas do PqRMnt /1.

Na Tabela 9 são apresentadas as distribuições de probabilidades do tempo de serviço de cada oficina.

Tabela 9 – Distribuições de probabilidades por oficina

OFICINAS	DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADES
freio	TRIA (16, 20, 24)
caixa de marcha	UNIF (24, 32)
elétrica	UNIF (16, 24)
motores	TRIA (24, 30, 32)
Lanternagem	TRIA (16, 20, 24)
pintura	TRIA (24, 30, 32)
inspeção	UNIF (12, 16)
Manutenção	TRIA (16, 20, 24)

4.3 Escolha das Variáveis de Desempenho

As variáveis de desempenho escolhidas para o sistema em estudo são Tempo Médio de Fila (*WAIT TIME*), Número Médio de caminhões em espera, a Média do Somatório dos Tempos de Processamento pelos recursos (*VA TIME*), a Média dos Somatórios dos Caminhões em Processamento (*WIP*), Taxa de Ocupação, a Média dos Somatórios dos Tempos de Transferência (*TRANSFER TIME*), o Número de Caminhões Processados (*NUMBER OUT*) e o Tempo de Trânsito das entidades no Sistema, que é a principal variável de desempenho para a análise deste trabalho, tendo em vista que quanto menor o tempo de trânsito dos caminhões pelo sistema mais rápido ele pode ser entregue à organização militar a qual pertence.

Na Tabela 10 são apresentadas as capacidades iniciais de cada oficina que se alteradas pela realização de experimentações, podem modificar os resultados obtidos pela simulação. A mudança da capacidade das oficinas pode alterar a taxa de ocupação de cada uma delas e conseqüentemente aumentar o número de caminhões processados pela linha de montagem de modo a diminuir o tempo de trânsito dos caminhões no sistema.

Inicialmente trabalhou-se com o número máximo de entidades que a Versão *Training* do ARENA permitiu, isto é, 98 (noventa e oito) caminhões, um número

razoável e que condiz com a realidade do funcionamento da linha de montagem de viaturas do PqRMnt/1.

O período simulado foi de 1056 horas, ou seja, seis meses, com vinte e dois dias mensais, com oito horas diárias.

Tabela 10 – Capacidade das oficinas

OFICINAS	Capacidade da oficina
freio	2
caixa de marcha	2
elétrica	2
motores	2
Lanternagem	2
pintura	2
inspeção	2
Manutenção	2

4.4 Cálculo do *WARM UP* (Tempo de aquecimento do sistema)

Considerou-se para este trabalho o regime como sendo terminal, pois a simulação foi bem definida quanto ao tempo inicial e final, ou seja, simulou-se um período seis meses de funcionamento da linha de produção. Neste caso, considerou-se que o sistema se encontrava em regime permanente desde o início, não sendo necessário, portanto, efetuar o cálculo do tempo de aquecimento.

4.5 Cálculo do Número de Replicações

Primeiramente, construiu-se uma amostra piloto com 10 replicações e calculou-se a metade do intervalo de confiança para a média do tempo de trânsito dos caminhões nas oficinas. A confiança estatística foi de 95%, isto é, $\alpha = 0,05$. A precisão estipulada com base na experiência do autor foi de 5 horas.

Os tempos de trânsito resultantes destas replicações são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 - Cálculo do número de replicações (1)

replicação	tempo de trânsito
1	302,36
2	284,56
3	307,62
4	306,77
5	299,41
6	289,24
7	306,12
8	302,32
9	308,5
10	289,58
Média	299,65
Desvio Padrão	8,73
Metade do IC	6,24

Calculou-se h (metade amplitude do intervalo de confiança), como se segue:

$$t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,26 \frac{8,73}{\sqrt{10}} = 6,24$$

Como h (precisão calculada) é maior que a precisão definida h^* , utilizou-se um tamanho de amostra maior, o qual foi calculado conforme apresentado a seguir:

$$n^* = \left[n \left(\frac{h}{n^*} \right)^2 \right] = \left[10 \left(\frac{6,24}{5,0} \right)^2 \right] = [15,57] \cong 16.$$

Embora o número de replicações resultante do cálculo efetuado seja 16, optou-se por arredondar o tamanho da amostra (n) para 20.

Os resultados dos tempos médios de trânsito pelo sistema encontrados nas replicações são apresentados na Tabela 12

Efetuando-se o cálculo da metade da amplitude do intervalo pela fórmula abaixo:

$$t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,06 \frac{7,41}{20} = 3,41$$

Tabela 12 - Cálculo do número de replicações (2)

replicação	tempo de trânsito
1	302,36
2	284,56
3	307,62
4	306,77
5	299,41
6	289,24
7	306,12
8	302,32
9	308,5
10	289,58
11	291,21
12	303,94
13	300,99
14	292,6
15	294,42
16	308,89
17	309,76
18	299,35
19	301,47
20	299,45
Média	299,93
Desvio padrão	7,41
Metade do IC	3,41

Este resultado (3,41) é menor que a precisão estipulada de 5 horas, indicando que 20 replicações são suficientes para simular a linha de manutenção de viaturas do PqRMnt/1.

Com a construção do intervalo de confiança verifica-se que o verdadeiro valor do tempo médio de trânsito está contido no intervalo [296,52; 303,34] com 95% de probabilidade.

Após o cálculo do número de replicações e da construção do intervalo de confiança, realizou-se a programação visual do modelo utilizando como simulador o software ARENA.

A programação visual correta do modelo é fundamental, pois ela deve representar com fidelidade o funcionamento da linha de montagem de caminhões do PqRMnt/1. Esta programação implicará no fornecimento de resultados confiáveis que servirão de base para tomada de decisões por parte dos gestores desta OM de manutenção.

No item 4.6 é apresentada a programação visual da linha de montagem de caminhões.

4.6 Modelo Programado no ARENA.

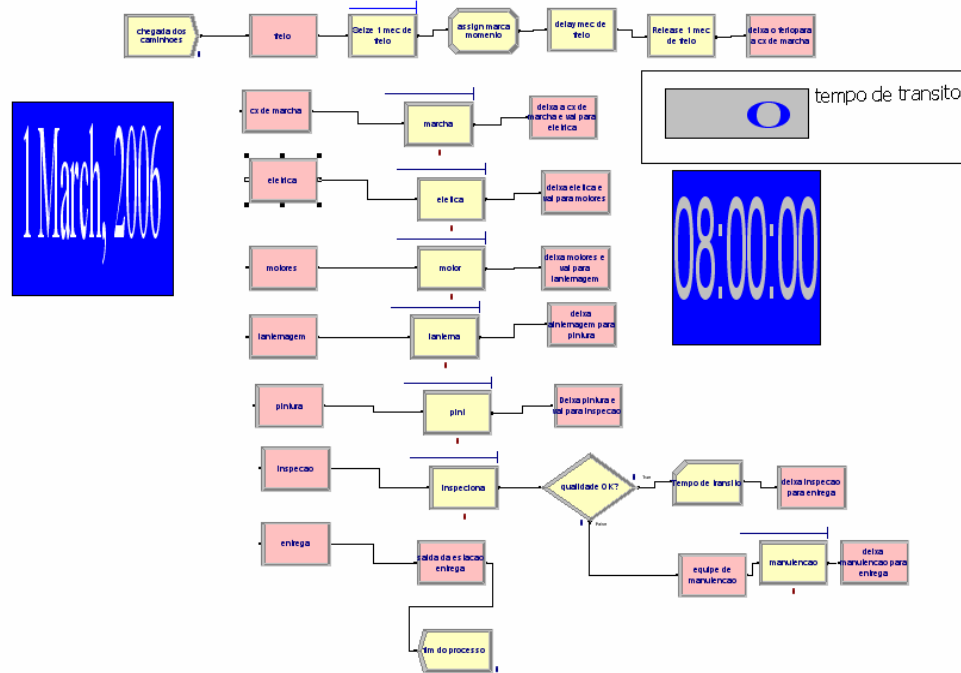


Figura 11 – Modelo programado no simulador ARENA

Na figura 11 é apresentado o sistema resultante da programação visual da linha de montagem de viaturas do PqRMnt/1, com as respectivas oficinas. Foram incluídos na programação alguns acessórios como um contador de tempo de trânsito, um calendário e um relógio.

Na figura 12 é apresentada a primeira linha de comando do modelo com os respectivos blocos:

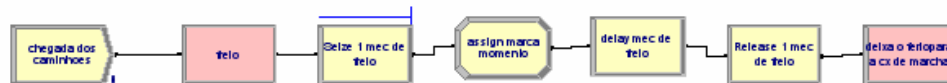


Figura 12 – Primeira linha de comando

Nela encontram-se os blocos *Create* (aonde chegam as entidades no sistema), *Station Process* (onde as entidades são processadas), *Seize* (onde a entidade fica retida até haver disponibilidade de atendimento pelo recurso, ocupando lugar na fila), *Assign* (bloco que grava o valor do momento da disponibilidade do recurso), *Delay* (onde a entidade fica retida durante o

atendimento pelo recurso), *Release* (este bloco libera uma unidade do recurso que vai para o bloco *Leave*) deixando o recurso e indo para outro.

As estações de trabalho (oficinas), onde as entidades (caminhões) são processados são apresentadas na Figura 13.

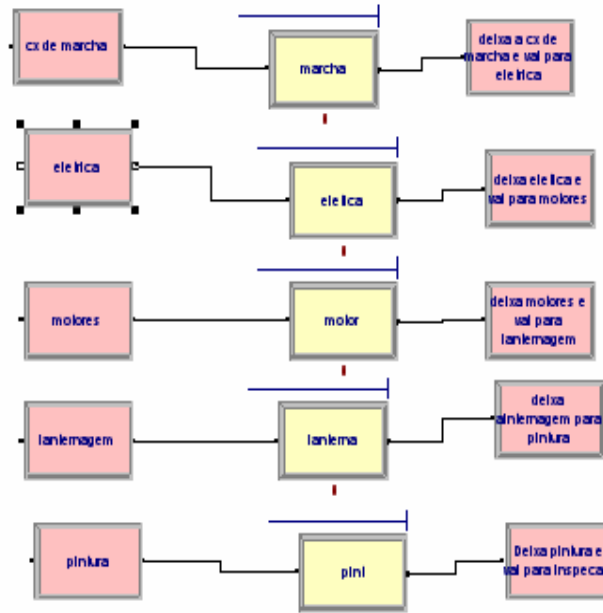


Figura 13 – Estações de trabalho

Na figura 14 é apresentado o bloco *Decide* onde é atribuída a condição de que 20% da produção de caminhões apresentam algum tipo de defeito, que quando detectado pela equipe de inspeção, é reparado pela equipe de manutenção. Caso não haja defeito, ou após a reparação, o caminhão é entregue à OM a que pertence.

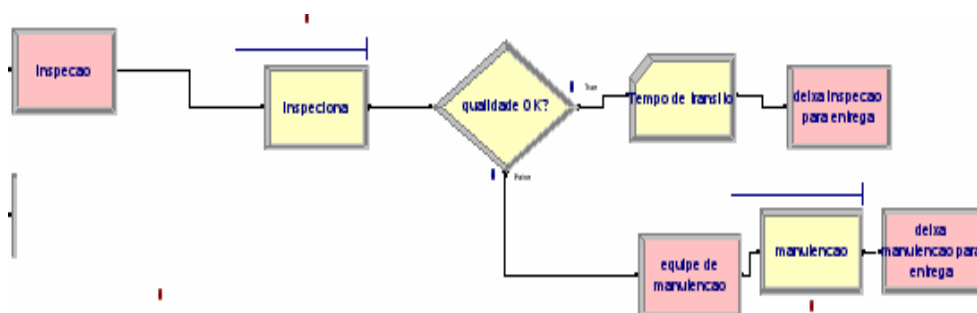


Figura 14 - Inspeção, bloco *Decide* e oficina de manutenção

4.7 Resultados da Primeira Simulação

Os resultados apresentados foram os seguintes:

Na Tabela 13 é apresentado um resumo das variáveis mais importantes por oficina.

Na Tabela 14 é apresentado um resumo de variáveis globais extraídas do relatório

Na Tabela 15 são apresentados os VA TIME por entidade

Tabela 13 – Variáveis importantes extraídas do relatório (1)

Oficinas	Taxa de ocupação	Produção total	Capacidade da oficina	Tempo de espera médio		Fila de espera média	
				mínimo	máxima	Média min	Média máxima
elétrica	0,6822	62	2	0,00	0,00	0,00	0,00
inspeção	0,4166		2	0,00	0,00	0,00	0,00
lanternagem	0,6363		2	0,00	0,00	0,00	0,00
cx. de marcha	0,9808		2	127,76	153,27	12,5804	15,1133
freio	0,9264		2	475,37	489,88	44,1162	45,4620
manutenção	0,1116		2	0,00	0,00	0,00	0,00
motores	0,9293		2	6,6633	27,1121	0,4419	1,8412
pintura	0,8757		2	2,1321	9,3550	0,1360	0,5968

Tabela 14 – Variáveis globais extraídas do relatório (1)

VARIÁVEL	Média	Média Mínima	Média Máxima	Valor Mínimo	Valor Máximo
<i>VA TIME</i>	143,09	140,81	144,81	127,17	171,70
<i>WAIT TIME</i>	440,57	433,99	446,63	0,00	896,42
<i>TRANSFER TIME</i>	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
<i>NUMBER OUT</i>	62	62	63	-	-
<i>WIP</i>	71,5224	71,1246	71,8581	0,00	98,00

De acordo com os resultados apresentados inicialmente, no relatório, a produção máxima foi de 62 caminhões. As oficinas de caixa de marcha, freio,

montagem de motores e pintura apresentaram taxas de utilização de 98,08%, 92,64%, 92,93% e 87,57%, respectivamente, formando-se “gargalos”.

Tabela 15 – VA TIME por entidade (1)

<i>VA TIME</i>	Média	Média Mínima	Média Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo
elétrica	19,9625	19,3198	20,4910	16,0032	23,9981
inspeção	13,9764	13,6652	14,2326	12,0042	15,9950
lanternagem	20,0945	19,8075	20,4621	16,1070	23,8617
manutenção	19,8662	19,0356	20,6569	16,5558	23,3182
cx. de marcha	28,0243	27,4254	28,4983	24,0054	31,9936
motores	28,6003	28,1274	28,9341	24,3701	31,8104
pintura	28,6629	28,3535	29,0182	24,2608	31,8804

A oficina de freio, que é a primeira oficina da linha de montagem, apresentou alto índice de tempo de espera e um grande número de caminhões em fila pelo fato de todos chegarem juntos ao sistema.

O número de caminhões em processamento foi, em média, de 71,5224; o tempo médio de trânsito, apresentado pelo relatório *Overview*, foi, em média, 299,93 horas; os *VA TIME* por entidade não apresentaram grandes diferenças nas oficinas de caixa de marcha, motores e pintura. As oficinas de inspeção e manutenção apresentaram as menores taxas de *VA TIME* por entidade.

4.8 Análise de Sensibilidade

A solução encontrada para melhorar o sistema foi aumentar a capacidade das oficinas que apresentaram problemas de “gargalo” de duas para três viaturas e “rodar” a simulação novamente. Desse modo, pôde-se verificar uma melhora no desempenho da linha de montagem, pois os resultados encontrados para as variáveis de desempenho foram melhores que os anteriores, principalmente o tempo de trânsito. Esses resultados são apresentados nas tabelas 16, 17 e 18.

Neste caso, a produção total foi de 88 caminhões, formando-se, ainda “gargalos” devido às altas taxas de ocupação nas oficinas de freio, caixa de

marcha, motores e lanternagem, pois neste caso, ainda se estava trabalhando com uma entrada de 98 caminhões.

O tempo alto de espera e o grande tamanho da fila na oficina de freio são devidos ao fato já explicado anteriormente.

Tabela 16 – Variáveis importantes extraídas do relatório (2)

Oficinas	Taxa de Ocupação	Produção	Capacidade da Oficina	Tempo de Espera Médio		Fila de Espera Média	
				Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima
freio	0,9272	88	2	471,73	489,51	43,7776	45,4279
cx de marcha	0,8652		3	1,5909	3,1511	0,00	0,0015
elétrica	0,6197		3	0,00	0,00	0,00	0,00
motores	0,8803		3	1,6052	3,2503	0,1490	0,3016
lanternagem	0,8927		2	3,9083	15,2255	0,3519	1,4107
pintura	0,8264		3	0,5809	2,7669	0,00	13,0187
inspeção	0,5909		2	0,00	0,1790	0,0517	0,2437
manutenção	0,1677		2	0,00	0,3932	0,00	0,0082

Tabelas 17 – Variáveis globais extraídas do relatório (2)

VARIÁVEL	Média	Média Mínima	Média Máxima	Valor Mínimo	Valor Máximo
<i>VA TIME</i>	143,25	141,20	144,54	125,45	171,52
<i>WAIT TIME</i>	443,60	435,88	450,32	0,00	896,83
<i>TRANSFER TIME</i>	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
<i>NUMBER OUT</i>	88	86,00	90,00	-	-
<i>WIP</i>	60,8630	60,2293	61,4728	0,00	98,000
TEMPO TOTAL	607,19	601,17	612,17	154,60	1055,03
TEMPO MÉDIO DE TRÂNSITO	177,18 horas (aproximadamente 7 dias)				

Um fator importante de ser observado é o que o tempo médio de trânsito das entidades pelo sistema que baixou de 299,93 horas para, 177,18 horas (aproximadamente vinte e dois dias de trabalho) e o número médio de caminhões

em processamento foi reduzido de 71,5224 para 60,8630. Isto fez com que o desempenho da linha de montagem de viaturas melhorasse, visto que o tempo de trânsito diminuiu em 122,75 horas (aproximadamente 15 dias de trabalho).

Tabela 18 – VA TIME por entidade (2)

<i>VA TIME</i>	Média	Média Mínima	Média Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo
elétrica	20,0324	19,2681	20,5370	16,0156	23,9972
inspeção	13,9685	13,7685	14,2584	12,0035	15,9983
lanternagem	20,0412	19,6447	20,5490	16,2629	23,7994
manutenção	19,8766	19,2616	20,6048	16,1874	23,8395
cx. de marcha	27,9676	27,5883	28,3578	24,0013	31,9979
motores	28,6026	28,3451	28,8167	24,1290	31,9780
Pintura	28,6404	28,4005	29,0301	24,0203	31,9667

Uma redução desta ordem é importante porque tem como consequência, a volta do caminhão num menor tempo para a OM a qual pertence.

Esta calibragem do modelo serviu para se verificar o comportamento da linha de montagem, após o aumento de capacidade das oficinas e, também, para se saber quantos caminhões poderiam ser processados pela linha de montagem por semestre.

Após a calibração do sistema de manutenção, efetuou-se mais uma rodada. Desta vez, com uma entrada de 88 caminhões. Este número de viaturas serviu de base para o planejamento da produção anual do PqRMnt/1. Na simulação final foram obtidos os seguintes resultados, apresentados nas Tabelas 19, 20 e 21.

Comparando-se as Tabelas 16 e 19 verifica-se a diminuição da taxa de ocupação em quase todas as oficinas de manutenção e que não houve grandes alterações nos tempos médios de espera e no número de caminhões em fila de espera, exceto na oficina de freio, justamente pelo balanceamento das taxas de ocupação das oficinas.

Na Tabela 20 é mostrado que o tempo médio de trânsito permaneceu em 177,18 horas não havendo, também, alteração no tempo total de processamento dos caminhões da linha de montagem; o número médio de caminhões em processamento foi reduzido para 50,86 caminhões.

Não foi observada alteração significativa nos tempos total de processamento e nos *VA TIME* por entidade, quando são comparadas as Tabelas 18 e 21, o que mostra que o sistema alcançou equilíbrio.

Tabela 19 – Variáveis importantes extraídas do relatório (3)

Oficinas	Taxa de Ocupação	Produção	Capacidade da Oficina	Tempo de Espera		Fila de Espera	
				Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima
freio	0,8316	88	2	422,31	438,81	35,1922	36,5672
cx. de marcha	0,7770		3	1,4495	3,3683	0,1208	0,2807
elétrica	0,5570		3	0,00	0,00	0,00	0,00
motores	0,7947		3	1,4308	3,4141	0,1192	0,2845
lanternagem	0,8356		2	3,5976	14,2322	0,2998	1,1860
pintura	0,7956		3	0,6758	2,5464	0,0563	0,2122
inspeção	0,5825		2	0,00	0,2192	0,00	0,0183
manutenção	0,1654		2	0,00	0,4169	0,00	0,0075

Tabela 20 – Variáveis globais extraídas do relatório (3)

VARIÁVEL	Média	Média Mínima	Média Máxima	Valor Mínimo	Valor Máximo
<i>VA TIME</i>	143,26	141,18	144,68	124,67	171,52
<i>WAIT TIME</i>	441,82	434,98	447,73	0,00	896,05
<i>TRANSFER TIME</i>	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
<i>NUMBER OUT</i>	88	86,00	88,00	-	-
<i>WIP</i>	50,86	50,1926	51,4312	0,00	88,00
TEMPO TOTAL	608,54	600,63	615,33	155,48	1053,60
TEMPO MÉDIO DE TRÂNSITO	177,18 horas				

Pode-se deprender desta análise que o modelo construído é representativo da linha de montagem e que as mudanças efetuadas nas capacidades das oficinas, proporcionaram a calibração do sistema, e resultaram no aumento do número de viaturas processadas pelas oficinas e na diminuição do tempo de trânsito dos

caminhões pela linha de montagem. Estes resultados são de grande importância, tendo em vista, a necessidade de que as viaturas sejam entregues às OM no mais curto espaço de tempo possível.

Tabela 21 – VA TIME por entidade (3)

<i>VA TIME</i>	Média	Média Mínima	Média Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo
elétrica	20,0505	19,4745	20,5698	16,0067	23,9998
inspeção	13,9824	13,8344	14,1913	12,0007	15,9993
lanterna	20,0533	19,7665	20,5059	16,2629	23,7994
manutenção	19,8777	19,0258	20,6185	16,3173	23,8395
cx. de marcha	27,9715	27,5780	28,3990	24,0032	31,9979
motores	28,6082	28,3895	28,9707	24,2523	31,9381
pintura	28,6430	28,3826	28,9296	24,0203	31,9967

Verificou-se que com esta configuração da linha de montagem, o sistema não suportaria um número maior de caminhões, pois se formariam “gargalos” e o lote não seria processado integralmente. Entretanto as análises de sensibilidades poderiam proporcionar melhorias significativas em seu funcionamento, sendo esta a vantagem do uso da simulação como ferramenta de apoio à decisão pois permitem efetuar mudanças nas variáveis do modelo.