



**Luis Antonio Moreira Seabra**

**Simulação de uma linha de montagem de veículos:**

**Uma aplicação em veículos militares**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Antonio Fernando de Castro Vieira

Rio de Janeiro, setembro de 2006



**Luis Antonio Moreira Seabra**

**Simulação de uma linha de montagem de veículos:**

**Uma aplicação em veículos militares**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Antonio Fernando de Castro Vieira**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-RIO

**Luiz Antonio Silveira Lopes**

IME

**Altair dos Santos Ferreira Filho**

IME

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, setembro de 2006

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Luis Antonio Moreira Seabra**

Graduou-se em Estatística formado pela UERJ em 1995, cursou a Escola de Administração do Exército e atualmente é Oficial Estatístico do Exército Brasileiro, trabalhando no Instituto Militar de Engenharia.

#### Ficha Catalográfica

Seabra, Luis Antonio Moreira

Simulação da de uma linha de montagem de veículos: uma aplicação em veículos militares/ Luis Antonio Moreira Seabra; orientador: Antonio Fernando de Castro Vieira - Rio de Janeiro: PUC-RIO, Departamento de Engenharia Industrial, 2006.

77 f. il.; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial

Incluí referências bibliográficas.

Logística Militar, Manutenção, Pesquisa Operacional, Teoria de Filas, Simulação

À Jesus Cristo, Autor e Consumador da minha fé, à minha amada esposa Ana  
Lúcia, aos meus filhos Luis Felipe, Marcus Vinícius e Luis Antonio Júnior.

## Agradecimentos

Agradeço à amada esposa e meus filhos pelo incentivo e compreensão;

Aos meus pais pelo incentivo;

Ao meu pastor Walter Barbosa Lima pelas orações e palavras de vitória;

Aos meus comandantes, subcomandantes e chefes imediatos no período de 2004 a 2006 do Instituto Militar de Engenharia pelo apoio e oportunidade de crescimento profissional;

À professora Vilma do Instituto Militar de Engenharia pelo incentivo;

À professora Roseli Mariana pela disposição em revisar o trabalho.

Ao Diretor do Parque Regional de Manutenção da 1ª Região Militar e aos antigos companheiros de trabalho desta Organização Militar de Manutenção;

Ao professor Antonio Fernando, orientador da presente dissertação, pelo incentivo e paciência;

## Resumo

Seabra, Luis Antonio Moreira. **Simulação de uma linha de montagem de veículos: uma aplicação em veículos militares.** Rio de Janeiro, 2006.77p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Resumo.

Foi feito um estudo da linha de montagem de viaturas do Parque Regional de Manutenção da Primeira Região Militar com o objetivo de propor o uso de uma ferramenta computacional que auxilie no planejamento da produção desta organização militar. Para isso, foi criado um modelo, composto de várias estações de trabalho, dispostas em linha e utilizou-se o software de simulação ARENA. Foram executadas análises de sensibilidades e ajustes no modelo, com o objetivo de ajustá-lo. Com os resultados obtidos, concluiu-se que uso desta ferramenta computacional proporciona aos gestores desta OM de manutenção do Exército Brasileiro um melhor planejamento da produção anual e consequentemente um retorno mais rápido das viaturas às OM de origem. Foi feito, também, uma breve explanação sobre Logística Militar, Fases da Logística Militar, Níveis de Apoio Logístico, Função Logística Manutenção, Escalões de Manutenção, Organização da Logística no EB, Teoria de Filas e Simulação.

## Palavras-chave

Logística Militar, Manutenção, Pesquisa Operacional, Teoria de Filas e Simulação.

## **Abstract**

Seabra, Luís Antonio Moreira.: Simulation of The assembly line of vehicles: an application to military vehicles Rio de Janeiro, 2006. 77p. Dissertation of Master's degree - Department of Engineering Industrial, Papal Catholic University of the Rio de Janeiro.

It was made a study of the assembly line of vehicles of the Regional Park of Maintenance of the First Military Area (PqRMnt/1) with the objective of proposing the use of a computation tool that aids in the planning of the production of this military organization. For that, a model was created, composed of several work stations (workshops), disposed in line and the software of simulation ARENA was used. Analyses of sensibilities and fittings were executed in the model, with the objective of adjusting him/it. With the obtained results, it was ended that use of this computation tool provides to the managers of this OM of maintenance of the Brazilian Army (EB) a better planning of the annual production and consequently a faster return of the vehicles to origin OM. It was done, also, an abbreviation explanation on Military Logistics, Phases of the Military Logistics, Levels of the Logistic Support, Function Logistics of the Maintenance, Steps of Maintenance, Organization of the Logistics in EB, Theory of Queues and Simulation.

## **Keywords**

Military Logistics, Maintenance, Researches Operational, Theory of the Queue, simulation.

## Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Definição do Problema	13
1.2 Objetivos Principais	14
1.3 Objetivos Secundários	14
1.4 Desenvolvimento	14
1.5 Estrutura do Trabalho	15
2 LOGÍSTICA MILITAR	16
2.1 Fases da Logística Militar	17
2.2 Níveis de Apoio Logístico	18
2.3 Função Logística Manutenção	18
2.3.1 Categorias de Manutenção	19
2.3.2 Escalões de Manutenção	19
2.4 A Organização da Logística Militar do Exército Brasileiro	20
2.4.1 Histórico do DLOG	20
2.4.2 A História do PqRMnt/1	22
3 TEORIA DE FILAS E SIMULAÇÃO	24
3.1 Tipos de Variáveis	26
3.2 Tipos de Modelos	26
3.2.1 Construção dos modelos de simulação.	27
3.2.2 Construção do Modelo Conceitual utilizando o <i>ACD</i>	27
3.3 Modelagem dos Dados de Entrada	29
3.4 Teoria de Filas	30
3.4.1 Processo de Chegada	30
3.4.2 Processo de Saída	30
3.4.3 Disciplina da Fila	31
3.4.4 Mecanismo de Atendimento	31
3.5 Simulação	32
3.5.1 Aplicações da Simulação	34
3.5.2 Verificação e Validação	34

3.5.3 Regime Transitório e Regime Permanente	35
3.5.4 Simulação Terminal e Simulação Não Terminal	35
3.5.5 Escolha das Medidas de Desempenho Adequadas	35
3.5.6 Cálculo do Número de Replicações	36
3.5.7 Cálculo do Tempo de Aquecimento ( <i>Warm UP</i> ) para Sistemas não Terminais	39
3.5.8 Análise de Resultados	40
3.6 O Software	40
3.6.1 O Input Analyzer	41
3.6.2 A Ferramenta Fit All do <i>Input Analyzer</i>	42
3.6.3 O Ajuste das Curvas	42
3.6.4 Modificando parâmetros	43
3.6.5 Expressões usadas pelo ARENA	44
3.6.6 Método de Transformação Inversa	45
3.7 Distribuições de Probabilidades	45
3.7.1 Distribuição Beta	45
3.7.2 Distribuição Erlang	46
3.7.3 Distribuição Gama	47
3.7.4 Distribuição Lognormal	47
3.7.5 Distribuição Triangular	48
3.7.6 Distribuição Exponencial	48
3.7.7 Distribuição Uniforme	48
3.8 Testes de Aderência	49
3.8.1 Testes de Aderência pelo Qui-Quadrado	49
3.8.2 Método de Kolmogorov-Smirnov	53
4 ESTUDO DE CASO	58
4.1 A linha de Manutenção Caminhões	58
4.2 Construção do Modelo Conceitual <i>ACD</i>	60
4.3 Escolha das Variáveis de Desempenho	61
4.4 Cálculo do <i>WARM UP</i> (Tempo de aquecimento do sistema)	62
4.5 Cálculo do Número de Replicações	62
4.6 Modelo Programado no ARENA.	65
4.7 Resultados da Primeira Simulação	67

4.8 Análise de Sensibilidade	68
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74
5.1 Conclusões	74
5.3 Recomendações	75
Bibliografia	77

## Lista de Figuras

Figura 1: Organograma do DLOG	22
Figura 2: Fases de um estudo de PO	25
Figura 3: Elementos básicos de um <i>ACD</i>	27
Figura 4: Modelo <i>ACD</i> para o exemplo dos Filósofos Famintos	28
Figura 5: Modelo <i>ACD</i> para o exemplo dos Filósofos Famintos	29
Figura 6: Comparação entre média aritmética e médias móveis	40
Figura 7: Distribuições teóricas do ARENA	42
Figura 8: Modificação dos parâmetros no <i>Input Analyzer</i>	43
Figura 9: Expressões usadas pelo ARENA	44
Figura 10: Modelo conceitual <i>ACD</i> da linha de produção do PqRMnt/1	60
Figura 11: Modelo programado pelo simulador ARENA	65
Figura 12: Primeira linha de comando	65
Figura 13: Estações de trabalho	66
Figura 14: Inspeção, bloco <i>Decide</i> e oficina de manutenção	66

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Dados de saída do modelo do Exemplo1 (1ª replicação)	37
Tabela 2: Dados de saída do modelo do Exemplo1 (2ª replicação)	38
Tabela 3: Média aritmética e médias móveis	39
Tabela 4: Número de aparelhos com defeito	51
Tabela 5: Cálculo necessários para o Teste Qui-Quadrado	52
Tabela 6: Defeitos em placas de circuito impresso	55
Tabela 7: Frequências esperadas	56
Tabela 8: Frequências esperadas e observadas	56
Tabela 9: Distribuições de probabilidade por oficina	61
Tabela 10: Capacidade das oficinas	62
Tabela 11: Cálculo do número de replicações (1)	63
Tabela 12: Cálculo do número de replicações (2)	64
Tabela 13: Variáveis importantes extraídas do relatório (1)	67
Tabela 14: Variáveis globais extraídas do relatório (1)	67
Tabela 15: VA TIME por entidade (1)	68
Tabela 16: Variáveis importantes extraídas do relatório (2)	69
Tabela 17: Variáveis globais extraídas do relatório (2)	69
Tabela 18: VA TIME por entidade (2)	70
Tabela 19: Variáveis importantes extraídas do relatório (3)	71
Tabela 20: Variáveis globais extraídas do relatório (3)	71
Tabela 21: VA TIME por entidade (3)	72