

Mestrado em Engenharia de Produção

Otimização de Máquinas de Corte em Fábricas de Chicotes Elétricos

Aluno: Luís Antônio Torres Ribeiro

Orientador: Fernando Menezes Campello de Souza, PhD

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) para
obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Recife - Pernambuco

Janeiro/2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**CENTRO DE TECNOLOGIA E
GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**
**Otimização de Máquinas de Corte
em Fábricas de Chicotes Elétricos**

Elaborada por: Luís Antônio Torres Ribeiro

Orientada por: Fernando Menezes Campello de Souza (PhD)

COMISSÃO DE EXAMINADORA:

Prof. Fernando Menezes Campello de Souza (PhD - UFPE)

Prof. Alexandre Stamford (Dsc - UFPE)

Prof. Dorival de Carvalho Pinto (PhD - UFPE)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Recife - Pernambuco

Janeiro/2003

Agradecimentos

À Deus por ter-me concedido condições intelectuais, físicas e emocionais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais Luiz Antonio e Maria Anabel, pelo investimento na minha educação, aos meus irmãos Arthur Felipe e Maria Luiza por tolerar as minhas ausências durante as horas de estudo e pesquisa.

À minha esposa Katia Simone que corrigiu as versões da dissertação, teve paciência nas minhas ausências e se dedicou comigo nesta jornada, a ela agradeço o apoio para esta conquista.

Ao Prof. Fernando Menezes Campello de Souza pela orientação dada ao meu trabalho de mestrado e pela contribuição à minha formação profissional e intelectual.

À TCA - Tecnologia em Componentes Automotivos pelo financiamento de parte do meu curso de mestrado; e aos colegas: Vera Lúcia dos Santos Carvalho, gerente de Engenharia, pelo apoio profissional concedido, com flexibilizações do horário de trabalho; ao Diretor Industrial, Msc. Antônio Stacishin Valente de Queiroz; e aos colegas: Antônio Elias Nogueira, Carlos A. de Souza, Fernando Quirino de Albuquerque, Pedro Faustino da Silva, Rocely D. P. Costa, Vanícia E. J. Ferraz, dentre outros.

À SY Wiring Technologies pela compreensão e pelo apoio nas viagens à Pernambuco especialmente a Eder R. de Oliveira, Edison Risso, Edivaldo L. Imenes e Thomas O. Pracuch.

A UFPE e aos professores e funcionários do PPGEP pelo apoio dado durante o Curso.

Ao novo amigo conhecido no mestrado, Gustavo Pimentel, pela ajuda de tantas formas prestada desde o início do mestrado até a conclusão; como também a todos os colegas da pós-graduação pela cooperação e incentivo no decorrer do mestrado, especialmente a Paulo Fernando e Rafael Assunção pela colaboração no uso da ferramenta \LaTeX de edição de texto.

Resumo

As montadoras de automóveis têm exigido preços menores de seus fornecedores devido à concorrência do mercado. Isto tem aumentado os desafios das manufaturas no que se refere à redução de custos e de *lead time*. Estes desafios vêm sendo impostos aos fabricantes de autopeças paralelamente às demais solicitações. Procurou-se analisar os fatores de maior importância numa fábrica de sistemas de distribuição elétrica para automóveis objetivando redução do tempo de processamento e de custos, sendo identificado como fator crítico os *setups* realizados nas máquinas de corte, por serem equipamentos de grande influência sobre o tempo de processamento. As máquinas de corte são equipamentos de elevado valor financeiro, porém um percentual representativo do seu tempo não é aproveitado devido à seqüência inadequada de trabalho que eleva a quantidade de horas paradas devido a *setups*. O desenvolvimento do trabalho de otimização do funcionamento da área de corte, foi baseado na fábrica da TCA, Tecnologia em Componentes Automotivos, situada em Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco e na fábrica da SY Wiring Technologies situada em Feira de Santana, Bahia. Com o objetivo de melhorar o aproveitamento das máquinas foi proposta uma otimização da seqüência de processamento reduzindo a quantidade de paradas para *setups*, com o desenvolvimento de um algoritmo que definisse a melhor seqüência de trabalho. Os tempos de *setup* funcionaram como dados para ponderação da importância dos tipos de trocas realizadas e assim desenvolveu-se o algoritmo que indica a alternativa de seqüência com o menor tempo de troca acumulado.

Abstract

The automotive industry makers have been demanding smaller prices from their vendors due to the competition of the market. This has been increasing the challenges of the manufacture in what refer to the reduction of costs and lead time. These challenges come being imposed to the autoparts makers parallely to the other solicitations. It tried to analyze the factors of larger importance in a factory of electric distribution systems for automobiles with the objective of time reduction for processing and costs, being identified as critical factor the *setups* accomplished in the machines of cut, for they be equipments of great influence on the time of processing. The cutting machines are high financial value equipments, even so a representative percentile of this time it is not taken advantage of, due to the inadequate sequence of work that it elevates the amount of hours stops due to *setups*. The development of the work for optimization of the operation of the cutting area, it was based on the TCA factory - Technology in Component Automotives, placed in Jaboatão of Guararapes, Pernambuco and in SY Wiring Technologies factory placed in Feira de Santana, Bahia. With the objective of improving the use of the machines were proposed an optimization of the processing sequence reducing the amount of stops for *setups*, with the development of an algorithm that define the best sequence of work. The times for *setup* worked as data for ponderação of the importance of the types changes done and like this the algorithm was developed to indicates the alternative sequence with the smallest accumulated time for change.

Sumário

Agradecimentos	IV
Resumo	V
Abstract	VI
Lista de Figuras	XI
Lista de Tabelas	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Ambiente de Desenvolvimento	2
1.1.1 TCA	2
1.1.2 SY	3
1.2 Antecedentes	4
1.3 O <i>Tradeoff</i> entre <i>Setup</i> e Produtividade	5
1.4 Definição de Chicote Elétrico	7
1.5 O <i>Status Quo</i>	8
1.5.1 Perdas	10
1.6 Objetivos	10
1.6.1 Objetivo Geral	10
1.6.2 Objetivo Específico	10
1.7 Definição de Algoritmo	10
1.8 Organização da Dissertação	11
2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO	12
2.1 Introdução	12

2.2	A Função Produção	13
2.3	Processamento de Informações	13
2.4	Produtos	13
2.5	Proteção à Produção	15
2.6	Objetivos de Desempenho	15
2.7	Influências	16
2.8	Tipos de Sistemas de Produção	17
2.9	Planejamento e Controle da Produção	18
2.9.1	Previsão de Demanda	20
3	SETUPS NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	21
3.1	Introdução	21
3.2	O Conceito de <i>Setup</i>	22
3.3	Redução de Tempo de <i>Setup</i>	22
3.3.1	Conceitos	22
3.3.2	Técnicas	23
3.4	<i>Setup</i> na Chicoteira	24
3.5	Motivos de Paradas de Máquinas de Corte	25
3.6	Motivos de Realização dos <i>Setups</i>	25
3.6.1	Classificação dos <i>Setups</i> Quanto à Complexidade	25
4	O PROCESSO	28
4.1	Introdução	28
4.2	A Linha de Produção	28
4.2.1	Abastecimento	28
4.2.2	Corte	28
4.2.3	A Máquina de Corte	32
4.2.4	Miniaplicadores	33
4.3	Insumos de Produção	36
4.4	A Seqüência de Corte	42
4.4.1	Interpretação da Seqüência de Corte	42
4.5	Cadastro	44
4.6	O Problema - Gargalo	44

4.7	Preparação	46
4.8	Montagem	48
4.9	Teste e Embalagem	48
5	ANÁLISE DE DADOS	50
5.1	Introdução	50
5.2	Descrição dos Tempos Considerados	50
5.3	Estatística Descritiva - O Retrato da Produção	56
5.4	Histogramas	61
5.5	Simulação	64
5.6	Análise Combinatória na Fabricação de Chicotes	66
5.7	Estatística Inferencial	67
5.8	Teste de Durbin-Watson	68
5.9	Modelo de Regressão Múltipla	68
5.10	Tabela Anova	69
5.11	Gráficos	70
5.12	Conclusões Sobre o Levantamento de Dados da TCA	74
6	OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE MÁQUINAS DE CORTE	75
6.1	Introdução	75
6.2	As Máquinas de Corte	75
6.3	Comparações	77
6.4	O Algoritmo de Ordenação de Listas de Corte	78
6.5	A Otimização Lexicográfica	79
6.6	Algoritmo	79
	6.6.1 Refinamento do Algoritmo	80
	6.6.2 Algoritmos Evolutivos	80
6.7	Estrutura de Dados	82
6.8	Otimização de Seqüências de Corte	83
6.9	O <i>Setup</i> da Informação	85
6.10	Exemplo Simplificado do Uso do Algoritmo	86
6.11	Exemplos Completos do Uso do Algoritmo	89
6.12	Comentários Sobre o Uso do Algoritmo	96

7 CONCLUSÕES	97
7.1 Resultados Esperados	97
7.1.1 Custo da Hora-Máquina	97
7.1.2 Custo da Mão de Obra	97
7.1.3 Custo da Matéria-prima	98
7.1.4 Análise dos Resultados Esperados	98
7.2 Viabilidade Técnica	99
7.2.1 A Implementação	100
7.3 Viabilidade Econômica	100
7.4 Necessidade de Pessoal	101
7.5 Conclusão sobre a Análise de Viabilidade	101
7.6 O Déficit de Análises Quantitativas	102
7.7 O Futuro	103
7.7.1 A Automatização	103
7.7.2 Riscos do Processo Automático	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

Lista de Figuras

1.4.1 Chicotes em um veículo - Fonte: SY	7
1.4.2 Circuito simples com dois terminais e sem vedantes - Fonte: Komax	8
1.4.3 Foto de emendas por ultrassom - Fonte: Amtech	9
4.2.1 Linha do painel - Fonte: TCA e Diagrama do fluxo produtivo.	29
4.2.2 Leiaute fabril - Fonte: SY	30
4.2.3 Máquina de corte Komax 433- vista lateral - Fonte: Komax	31
4.2.4 Máquina de corte Komax 433- vista superior - Fonte: Komax	31
4.2.5 Miniaplicador Lateral - Fonte: SY	34
4.2.6 Foto Miniaplicador - Fonte: Schaëfer	35
4.3.1 Conector com circuitos já inseridos - Fonte: TYCO	38
4.3.2 Terminais - Fonte: SY	39
4.3.3 Cravação - Fonte: SY	40
4.3.4 Terminal com vedante ampliado - Fonte: SY	40
4.8.1 Mesa de montagem - Fonte: SY	48
5.4.1 Histograma da quantidade diária de circuitos de emendas cortadas	61
5.4.2 Histograma do comprimento médio dos circuitos cortados	62
5.4.3 Histograma do lote médio cortado	62
5.4.4 Histograma da quantidade de <i>setups</i> de terminal	63
5.4.5 Histograma da quantidade de circuitos cortados por dia	63
5.6.1 Árvore de possibilidades de uso de circuito a partir de um terminal fixo.	67
5.11.1 Quantidade de <i>setups</i> versus lote médio categorizado	70
5.11.2 Quantidade de <i>setups</i> versus quantidade cortada categorizada	71
5.11.3 Qtde. de <i>setups</i> versus quantidade cortada categ. para lotes grandes	71
5.11.4 Comprimento médio versus lote médio categorizado	72

5.11.5 Correlação entre a quantidade de emendas e a quantidade de circuitos	73
5.11.6 Gráfico dos resíduos	73
6.2.1 Gráfico da produtividade teórica das máquinas de corte - Fonte: Komax	76

Lista de Tabelas

4.4.1 Seqüência de corte	43
5.2.1 Resumo do levantamento de tempos de <i>setup</i>	51
5.2.2 Quantidade N de amostras necessárias	52
5.2.3 Resultado da análise	53
5.3.1 Levantamento de dados de corte da TCA	56
5.3.2 Estatística Descritiva do Levantamento de Dados do Corte	56
5.3.3 Levantamento dos dados de corte - Parte 1	58
5.3.4 Levantamento dos dados de corte - Parte 2	59
5.3.5 Levantamento dos dados de corte - Parte 3	60
5.5.1 Saída da planilha de análise de eficiência das máquinas de corte	65
5.7.1 Matriz de correlação dos dados.	68
5.9.1 Sumário da regressão	69
5.10.1 Anova da regressão	69
6.7.1 Quantidade de registros versus comparações	82
6.10.1 Ordenação na forma convencional	87
6.10.2 Definição de freqüência e índice	87
6.10.3 Análise horizontal	88
6.10.4 Ordenação horizontal	88
6.10.5 Ordenação concluída	89
6.11.1 Seqüência de corte da TCA ordenada na forma convencional	90
6.11.2 Seqüência de corte da TCA ordenada pelo algoritmo	90
6.11.3 Análise da ordenação convencional da seqüência da TCA	91
6.11.4 Análise da ordenação pelo algoritmo	91
6.11.5 Seqüência da SY ordenada na forma convencional.	92

6.11.6 Análise dos terminais - SY	93
6.11.7 Ordenação horizontal dos terminais na lista da SY	94
6.11.8 Seqüência de corte da SY ordenada pelo algoritmo.	95