

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
(Bacharelado)

**PROTÓTIPO DE UM ESCALONADOR DE ORDENS DE
PRODUÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS**

ESTÁGIO SUPERVISIONADO SUBMETIDO À UNIVERSIDADE REGIONAL DE
BLUMENAU PARA A OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA DISCIPLINA COM NOME
EQUIVALENTE NO CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO —
BACHARELADO

CLÁUDIO KOCK

BLUMENAU, JULHO/2000

2000/1-10

PROTÓTIPO DE UM ESCALONADOR DE ORDENS DE PRODUÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

CLÁUDIO KOCK

ESTE ESTÁGIO SUPERVISIONADO, FOI JULGADO ADEQUADO PARA
OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA DISCIPLINA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO
DE CURSO OBRIGATÓRIA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE:

BACHAREL EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Sr. Agnaldo Montibeler – Orientador da Empresa

Prof. Marcel Hugo — Supervisor na FURB

Prof. José Roque Voltolini da Silva — Coordenador do Estágio

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marcel Hugo

Prof. Roberto Heinzle

Prof. Nelson Hein

A meus pais, amigos e minha namorada, pelo intenso apoio que sempre me deram.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador da empresa, acima de tudo um amigo e colega de trabalho, ao meu supervisor da FURB, Professor Marcel Hugo e ao excelente Doutor e Professor Nelson Hein, pelas orientações, conselhos e aproximação de horizontes distantes. Todos, especiais à realização deste trabalho.

Agradeço, principalmente, aos meus pais, Celso e Inês, assim como também aos meus irmãos que me ajudaram em muito durante o decorrer do curso.

À minha namorada, que sempre esteve do meu lado, mesmo durante os momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, colegas de trabalho e todos os que contribuíram de alguma forma para que esse sonho se tornasse realidade.

Em especial à DEUS, que sempre me iluminou e me deu uma força de vontade fundamental para qualquer objetivo, fazendo de cada obstáculo uma motivação maior e cada risco uma vitória mais desejada. E acima de tudo, uma ambição de conquista saudável para que um dia eu tenha com certeza uma vida mais tranqüila.

Sumário

Lista de Figuras	ix
Lista de quadros.....	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 ESTRUTURA.....	3
2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	5
2.1 DEFINIÇÃO DE OP.....	5
2.2 IMPORTÂNCIA	5
2.3 OBJETIVOS.....	7
2.4 FATORES CAUSADORES DE MUDANÇAS	7
2.5 PRIORIDADES COMPETITIVAS	8
2.6 SISTEMAS DE ERP	9
2.7 SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO (SAP)	11
2.7.1 INTRODUÇÃO.....	11
2.7.2 ATIVIDADES	12
2.7.3 OS SAP E A VELOCIDADE DE ENTREGA.....	13
2.7.4 RAZÃO DA UTILIZAÇÃO DE UM SAP	15
2.8 PCP.....	16
2.8.1 CONTRIBUIÇÃO	16
2.8.2 CONCEITOS.....	17
2.8.3 FUNÇÕES	18

2.8.4 FUNCIONAMENTO	19
2.8.5 ATUAÇÃO.....	21
2.8.6 FLUXO DO PCP COM OS SETORES QUE INTERAGE	21
2.8.7 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO	22
2.8.8 TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO APLICÁVEIS AO PCP.....	23
2.9 JUST IN TIME (JIT)	23
2.9.1 OBJETIVOS	24
2.9.2 CARACTERÍSTICAS.....	26
2.9.2.1 REDUÇÃO DO TEMPO DE FABRICAÇÃO	26
2.9.2.2 DISPOSIÇÃO FÍSICA DAS MÁQUINAS	26
2.9.2.3 POLÍTICA DE FORNECEDORES	29
2.9.2.4 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	29
2.9.2.5 MÃO-DE-OBRA POLIVALENTE E PRÓ-ATIVA (CÍRCULOS DE CONTROLE DE QUALIDADE)	29
2.9.2.6 QUALIDADE ABSOLUTA	29
2.9.2.7 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL	30
2.9.2.8 LIMPEZA E ARRUMAÇÃO DA FÁBRICA	30
2.9.2.9 USO DE DISPOSITIVOS DE CONTROLE SENSORIAIS (SISTEMA KANBAN DE MOVIMENTAÇÃO DE ORDENS E MATERIAIS)	31
2.9.2.10 ÊNFASE	31
2.9.3 LIMITAÇÕES DO JIT	31
2.9.4 RESULTADOS	32
2.10 MRP II	33
2.10.1 OBJETIVOS	33
2.10.2 PRINCÍPIO BÁSICO	34
2.10.3 NOÇÕES BÁSICAS	35

2.10.4 FUNCIONAMENTO	42
2.10.5 VANTAGENS.....	44
2.10.6 LIMITAÇÕES	44
2.10.7 RESULTADOS ESPERADOS	45
2.11 OPT.....	45
2.11.1 OBJETIVOS.....	46
2.11.2 PRINCÍPIO BÁSICO	46
2.11.3 ASPECTOS FILOSÓFICOS.....	47
2.11.3.1 ÁREAS DO OPT.....	47
2.11.3.2 PRINCÍPIOS OPT.....	48
2.11.4 FUNCIONAMENTO	51
2.11.5 VANTAGENS.....	54
2.11.6 LIMITAÇÕES	55
2.11.7 RESULTADOS ESPERADOS	56
2.12 CONSIDERAÇÕES FINAIS PARA ESCOLHA E APLICABILIDADE DOS SISTEMAS DE PCP	56
3 ESCALONADOR.....	59
3.1 INTRODUÇÃO.....	59
3.2 ESCALONAMENTO DE OP	59
3.3 RESULTADOS	61
3.4 CONSEQÜÊNCIA	61
3.5 OBSERVAÇÕES	62
3.6 VISÃO LÓGICA DO USUÁRIO	63
4 ALGORITMOS GENÉTICOS	66
4.1 COMPOSIÇÃO DE UM AG	69

4.2 OPERADORES GENÉTICOS.....	71
4.3 PARÂMETROS GENÉTICOS	73
4.4 A POPULAÇÃO INICIAL	74
4.5 EVOLUÇÃO DO NÍVEL DE <i>FITNESS</i>	74
5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	76
5.1 DIAGRAMA DE CONTEXTO	76
5.2 FLUXOGRAMA ESTRUTURADO.....	76
5.3 ALGORITMO DA IMPLEMENTAÇÃO.....	82
5.3.1 SOBRE A ESTRUTURA DE DADOS.....	82
5.3.1.1 O INDIVÍDUO, O CROMOSSOMO E O GENE.....	82
5.3.1.2 FORMA INDEXADA E FORMA DESINDEXADA	82
5.3.1.3 FUNÇÃO DE FITNESS.....	83
5.3.1.4 OPERADORES	85
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
6.1 CONCLUSÕES	91
6.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS	92
6.3 SUGESTÕES	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escalonador dentro do universo ERP	11
Figura 2 - Ciclos no processo produtivo.....	15
Figura 3 - Composição do lead time.....	28
Figura 4 - Processo produtivo do produto hipotético A	34
Figura 5 - Estrutura de produto relação pai-filho	37
Figura 6 - Lead-time de uma estrutura de produtos	38
Figura 7 - Cálculo quando ordem de compra e produção liberadas	39
Figura 8 - Constituição dos tempos de preparação/processamento.....	48
Figura 9 - Constituição dos tempos de preparação/processamento/ocioso	49
Figura 10 - Lógica do drum-buffer-rope no OPT.....	54
Figura 11 - Escalonamento da O.P. "A"	64
Figura 12 - Escalonamento da OP "B"	64
Figura 13 - Escalonamento da OP "C"	64
Figura 14 - Escalonamento das OP "A", "B", "C" eficientemente.....	65
Figura 15 - Indivíduos de uma população e a sua correspondente roleta de seleção	71
Figura 16 - Exemplo de mutação.....	72
Figura 17 - Exemplo de <i>Crossover</i> de um ponto.....	73
Figura 18 - Diagrama de Contexto	76
Figura 19 - Símbolos-padrão de Fluxograma.....	77
Figura 20 - Fluxograma estruturado Geral	78
Figura 21 - Fluxograma do Roteiro	79
Figura 22 - Fluxograma da Operação	80
Figura 23 - Fluxograma do Escalonador	81

Figura 24 - Relatório de OP antes de escalonadas.....	88
Figura 25 - Relatório de OP após escalonadas	89
Figura 26 - Demonstração de OP escalonadas no gráfico de Gantt	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especulação sobre essas expectativas para a próxima década	17
Quadro 2 - Exemplo de Algoritmo Genético	70
Quadro 3 - Escalamento da função fitness	84
Quadro 4 - Implementação do operador mutação	86
Quadro 5 - Implementação do operador Inversão	87

RESUMO

Este relatório apresenta um estudo sobre técnicas de produção e balanceamento da linha de produção com os recursos disponíveis, visando com isso, maior flexibilidade, maior agilidade, redução de custos e, acima de tudo, uma maior competitividade. Para tanto foi desenvolvido um software que, utilizando técnicas de Inteligência Artificial, particularmente Algoritmos Genéticos, realiza o escalonamento das tarefas a serem executadas em uma linha de produção.

ABSTRACT

This report shows a study about manufacturing techniques and how to balance the production line in a way of getting a better performance from the available resources. It is focused on a greater flexibility and quickness , retrenchment of expenses and above all things, a greater chance to stand in competition market. In order to this a prototype of a software was developed by using Artificial Intelligence, in particular genetic algorithm, to schedule the tasks in a production line.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as empresas estão atravessando uma série de desafios devido a crescente e rigorosa demanda dos clientes, desafios estes que comprometem os métodos tradicionais de fabricação. O gerenciamento da produção tem sido um grande desafio para as empresas modernas. Alterações nos pedidos e mudanças nas condições de operação fazem desta atividade um verdadeiro quebra cabeça. Com o intuito de superar estes obstáculos, empresas com visão de futuro buscam soluções automatizadas que lhes permitam sincronizar ou escalonar da melhor forma possível os processos produtivos.

Segundo [RAM1998], existem várias razões pelo qual surgem esses interesses:

- a) o mercado está hoje altamente dinâmico e imprevisível. Os clientes desejam variações e características especiais para seus produtos com exigência de alta qualidade e baixo custo, além de necessitar de atenção individual;
- b) as empresas reconhecem que através de seus programas de produção atuais não podem sincronizar a demanda com a disponibilidade dos recursos críticos da fábrica, tais como capacidade, materiais e operários.

Dentre os principais fatores que compõem o controle e o gerenciamento da produção industrial encontra-se a programação da produção, a qual pode ser descrito da seguinte forma: são dados um conjunto de tarefas e um conjunto de recursos. Cada tarefa consiste de uma cadeia de operações em que cada uma das quais deve ser processada durante um período de tempo ininterrupto, de um dado tamanho, em um dado recurso. Cada recurso pode processar no máximo uma operação por vez. Um programa consiste da alocação das operações em cada recurso. O problema é determinar um programa que realize todas as operações, no menor tempo possível.

Uma ferramenta de escalonamento pode trabalhar em conjunto com outros sistemas de planejamento do tipo ERP (abreviatura em inglês de Planejamento de Recursos da Empresa) e MRP II (abreviatura em inglês de Planejamento dos Recursos da Manufatura), como também separada. Porém, é necessário que haja uma base de dados já gerada, sempre voltada a permitir a simulação do escalonamento e alcançar sucessiva e simultaneamente os recursos produtivos de acordo com sua disponibilidade e a demanda do mercado. Isso permite conseguir uma maior flexibilidade na empresa, que nada mais é, responder eficazmente às

mudanças não planejadas e fazer da manufatura uma arma competitiva, fato que, segundo [COR1996] proporcionou aos produtos japoneses a conquista de mercados, devido a sua superior qualidade e confiabilidade, assim como a sua melhor resposta às necessidades e oportunidades do mercado, obtido pela alta qualidade e baixos preços de seus produtos, resultado que se atinge com uma excelência em manufatura.

Pretende-se com esse estágio, desenvolver uma ferramenta chamada escalonador, levando em consideração basicamente algumas variáveis como:

- a) data de entrega;
- b) prioridade (grau de dificuldade do produto, situação do cliente);
- c) disponibilidade de recursos.

Verificando-se a atual importância na busca da excelência da manufatura, propõe-se o desenvolvimento de um sistema que escale as ordens de produção (OP) de uma empresa em uma base de dados relacional em Oracle utilizando o ambiente de desenvolvimento Delphi juntamente com algoritmos genéticos da área de inteligência artificial e linguagem SQL (*Structured Query Language* – Linguagem de Consulta Estruturada) para manipulação dos dados no banco de dados. Para especificação do protótipo, será utilizado o Modelo Entidade Relacionamento (MER) para modelar a base de dados e as operações do protótipo serão mostradas através de um fluxograma.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em geral, as empresas sabem que, atualmente, para se manterem vivas no mercado, é preciso ter uma ótima performance nos processos de manufatura, assim como também a necessidade de integração de seus sistemas.

É necessário que se saiba que o ser humano foi criado para adquirir grandes conhecimentos, talvez sem limite. No entanto, existe uma hora que a capacidade de processamento da humanidade pode não corresponder, por mais que essa capacidade parece ter alcançado níveis que permitem na atualidade dar resposta a praticamente qualquer problema que se coloque. Conforme [HEI1994], isto acontece principalmente em problemas de interesse prático, onde objetiva-se a solução que otimiza algum tipo de critério. Sendo assim, problemas de decisão que normalmente surgem na vida empresarial, onde convive-se

diariamente com uma série de recursos escassos, assim como também inúmeras variáveis envolvidas, é possível resolvê-los computacionalmente através da exploração de algoritmos genéticos (AG). AG é uma ferramenta que está sendo muito utilizada nas formas de otimização heurística, obtendo com isso, a solução ótima de determinado problema com uma resolução rápida e uma resposta confiável, fato que proporcionará um diferencial tecnológico para essas empresas preocupadas em gerenciamento da manufatura. Os AG são indicados para o problema da programação da produção por se tratar de um ambiente de programação que está sujeito as seguintes restrições: não é permitida preempção, evitar ao máximo a inserção de tempo ocioso e, todas as OP (tarefas) assim como os recursos (máquinas) estão inicialmente disponíveis.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um sistema para escalonar as OP de uma empresa, procurando conseguir o máximo de aproveitamento dos recursos disponíveis da empresa.

1.3 ESTRUTURA

O trabalho foi dividido em 6 capítulos, descritos a seguir.

O primeiro capítulo faz a introdução e define os objetivos do trabalho, apresentando a justificativa para seu desenvolvimento.

O segundo capítulo apresenta uma visão geral sobre os atuais principais sistemas de produção, os quais geram as informações necessárias à serem consideradas pelo escalonador, definindo e caracterizando cada um deles.

O terceiro capítulo descreve os princípios, a visão lógica do usuário, suas regras e seqüências a respeito de um escalonador. Enfim, a forma de manipulação dos dados fornecidos por sistemas que servem de alavanca para o escalonador, gerando um seqüenciamento de OP de forma aproximada da solução ótima.

O quarto capítulo, trata sobre Algoritmos Genéticos, conceituando e citando seus principais componentes.

O quinto capítulo demonstra a prototipação onde foi utilizado o Modelo Entidade Relacionamento e detalha o projeto lógico, através de um diagrama de contexto e um fluxograma estruturado explicando o desenvolvimento do trabalho, relacionando a função objetivo, variáveis e restrições.

O sexto capítulo completa o relatório, apresentando as conclusões e sugestões para serem implementadas no protótipo.

2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Um sistema de produção pode ser definido como um processo organizado, que utiliza insumos e os transforma em bens ou executa serviços. Esses bens ou serviços devem se apresentar dentro dos padrões de qualidade e preço e ter procura efetiva. A importância e a forma de como melhor fazer essa transformação, otimizando ao máximo essa etapa a fim de maximizar os lucros da organização, não esquecendo de que no final dessa linha deve-se situar um consumidor satisfeito, será apresentada a seguir.

2.1 DEFINIÇÃO DE OP

Uma ordem de produção (OP) é uma espécie de documento que delimitará os caminhos que passam o produto. Esse produto pode ser proveniente de uma indústria de transformação, como por exemplo as indústrias têxteis, como também de uma indústria de montagem, como por exemplo as empresas do ramo metal/mecânico. Além disso, uma OP ainda contém todos os componentes que fazem parte desse processo produtivo (se existirem). Esse caminho por onde passa o produto é determinado pelo roteiro de fabricação pré-estabelecido a que esse produto pertence, que pode ser idêntico para uma série ou um grupo de produtos. Um grupo de produtos é conhecido como família, os quais possuem características semelhantes entre si, dimensões e formas similares, o que visa possibilitar um tempo mínimo de preparação dos equipamentos a cada momento em que se passa da produção de um produto para outro. Já os componentes envolvidos, ou seja, o material e semi-acabados que são agregados ao produto durante o processo produtivo, são determinados pela lista de materiais que o produto utilizará.

A OP pode servir como um instrumento de acompanhamento e controle (rastreamento), assim como também um instrumento de medição quanto ao previsto x realizado.

2.2 IMPORTÂNCIA

Nos últimos anos, as empresas vêm presenciando um aumento crescente no grau de exigências do mercado consumidor e também no nível de competitividade dos mercados interno e externo. Em virtude desses fatores, a única maneira dessas empresas sobreviverem é

buscar constantemente um melhor desempenho global, principalmente nos itens como qualidade, custo e flexibilidade, a fim de conseguir uma vantagem competitiva em relação aos concorrentes e conseqüentemente tornarem-se atraentes para os consumidores ([RAM1998]).

Em busca desse objetivo, ocorre atualmente um processo de redescoberta da manufatura, como um dos meios de se obter a vantagem competitiva pretendida em relação aos concorrentes, fato que vem gerando debates a respeito de novas formas de se gerenciar a manufatura e de que maneira ela pode contribuir para o sucesso da organização ([RAM1998]).

Segundo [COR1996], a manufatura pode ser uma importantíssima arma competitiva desde que bem equipada e administrada, isto é, considerando a produção de forma compatível com sua importância.

A concorrência pelos mercados se dá, hoje, com base em critérios, como, por exemplo, produtos livres de defeitos, produtos confiáveis e entregas rápidas, largamente influenciados pela função de manufatura. A manufatura já não pode ser encarada como um “mal necessário” (aquele setor que deveria ser administrado visando minimizar os potenciais prejuízos que ele pudesse vir a causar), mas como um setor que tem, como nenhum outro, o potencial de criar vantagem competitiva sustentada através do atingimento de excelência em suas práticas. A manufatura deve ser focalizada: excelência no que o mercado valoriza. É necessário que a organização explore a chamada estratégia da manufatura, que seria uma ferramenta cujo objetivo principal é o aumento da competitividade da organização e, para tal, busca conformar um padrão coerente de decisões e organizar os recursos da manufatura, para que eles possam prover um composto adequado de características de desempenho que possibilite à organização competir eficazmente no mercado. [COR1996] definem estratégia da manufatura como um quadro de referência com o objetivo central de aumentar a competitividade da organização, de forma sustentada, contemplando curto, médio e longo prazo, através da organização dos recursos de produção e da construção de um padrão de decisões coerente, de modo a permitir que o sistema produtivo e, por conseguinte, a organização, atinja um ‘mix’ desejado de desempenho nos vários critérios competitivos. Para [SKI1969], uma estratégia de manufatura é um conjunto de planos e políticas através dos quais a companhia objetiva obter vantagens sobre seus competidores e inclui planos para a produção e venda de produtos para um

particular conjunto de consumidores. Já [WHE1984] diz que uma estratégia de manufatura consiste num padrão de decisão nas principais áreas de operações de manufatura.

2.3 OBJETIVOS

A idéia da constante busca da excelência da manufatura significa alcançar objetivos tais como:

- a) reduzir o ciclo de fabricação de qualquer produto ou serviço que a empresa venha a produzir;
- b) reduzir os estoques em processo;
- c) reduzir os estoques de produtos acabados e semi-acabados;
- d) aumentar as operações faturáveis;
- e) maximizar o fluxo de produção;
- f) melhorar o tempo de resposta aos clientes;
- g) ter maior coordenação com a demanda;
- h) ter base para uma compra ótima de matéria-prima, entre outros.

2.4 FATORES CAUSADORES DE MUDANÇAS

Conforme [RAM1998], a perda de competitividade das empresas fez surgir a necessidade de mudanças. Isto devido ao fato de que as modernas empresas industriais estão enfrentando, nos últimos anos, uma série de desafios impostos pelo mercado. Onde a competição torna-se cada vez mais acirrada, fazendo com que as empresas que não se adaptarem às novas premissas, perderão mercado, não se tornarão competitivas e terão sua própria sobrevivência ameaçada. Com isso, procurou-se analisar quais são os fatores que provocaram estas mudanças, e que estratégia deve ser tomada para se adaptar a esta nova realidade competitiva. Os principais fatores são:

- a) consumidores: eles passaram a exigir produtos com alta qualidade e a preços baixos. Eles exigem produtos e serviços adaptados às suas necessidades específicas e peculiares;
- b) concorrência: com a globalização da economia, as empresas enfrentam um número maior de concorrentes, cada um deles capaz de introduzir novos produtos ou serviços no mercado, renovados rapidamente, com alta qualidade e a baixo custo. A grande concorrência entre as empresas modificou o mercado de regido pela

demanda para regido pela oferta;

- c) desenvolvimento tecnológico: o desenvolvimento tecnológico fez com que surgisse novos equipamentos, novos materiais e processos produtivos, provocando um aumento nas possibilidades de desenvolvimento de novos produtos. O desenvolvimento de novas tecnologias de processo possibilita a redução dos tempos de projeto-a-produção, redução dos tempos de pedido-a-entrega, melhoria da qualidade dos produtos; modificando a forma como as organizações competem no mercado. Outro desenvolvimento tecnológico de grandes dimensões é o desenvolvimento da tecnologia da informação e comunicação. Estas tecnologias provocaram um grande impacto no processo, armazenamento, transmissão de informações.

Todos esses fatores impõe às organizações novas condições de operação aos sistemas de manufatura, para que as mesmas possam continuar competindo no mercado. Estas condições, impostas aos sistemas de manufatura, passam a ser chamadas de prioridades competitivas.

2.5 PRIORIDADES COMPETITIVAS

Uma boa fábrica não pode, simultaneamente, tornar-se excelente em todos os critérios de desempenho, como baixo custo, alta qualidade, investimento mínimo, baixos prazos de entrega e rápida introdução de novos produtos. Compromissos existem e prioridades devem ser estabelecidas entre vários critérios de desempenho possíveis, de modo a identificar e priorizar aqueles que representem as reais necessidades ou desejos dos clientes. A moderna manufatura tem de ter suas unidades produtivas focalizadas no atingimento de excelência no desempenho daqueles critérios prioritários ([COR1996]). Esta é a idéia que deve ser inserida dentro de um escalonador, para que desta forma, consiga-se chegar ao ponto de saber claramente se a empresa tem condições por exemplo de atender a uma solicitação de um cliente em uma situação inesperada. Com isso, o setor de manufatura da organização se tornará proativo, em que função de manufatura contribua ativamente para o atingimento de uma situação de vantagem competitiva. Segundo [COR1996], a manufatura deve oferecer cenários futuros possíveis que envolvam novas tecnologias de processo, participando da elaboração (no sentido de avaliar a viabilidade operacional) dos planos estratégicos de

marketing e, se necessário, sugerindo alternativas ou garantindo que terá tempo hábil para providenciar eventuais capacitações técnicas e operacionais extras, necessárias a atender às solicitações de outros setores. Para que consiga cumprir este novo papel mais proativo, é necessário que a manufatura se abra, que monitore o ambiente externo à organização nos aspectos que digam respeito a suas tecnologias e metodologias, pois só a manufatura pode avaliar novos desenvolvimentos em sua área de atividade para futura utilização.

Conforme [COR1996], há cinco prioridades competitivas principais, baseadas nas quais a manufatura pode contribuir para a competitividade da organização. Contribuir para a competitividade da organização significa, para a produção:

- a) Fazer os produtos **gastando menos** que os concorrentes, obtendo vantagem em custos.
- b) Fazer produtos **melhores** que os concorrentes, obtendo vantagem em qualidade.
- c) Fazer os produtos **mais rápido** que os concorrentes, obtendo vantagem em velocidade de entrega.
- d) Entregar os produtos **no prazo** prometido, obtendo vantagem em confiabilidade de entrega.
- e) Ser capaz de **mudar muito e rápido** o que se está fazendo, obtendo vantagem em flexibilidade.

A manufatura tem influência direta sobre os aspectos do desempenho competitivo, como confecção de produtos sem erros, entregas confiáveis e rápidas ao consumidor, habilidade de introduzir novos produtos em prazos adequados, oferecimento de uma variedade de produtos para satisfazer a exigências dos consumidores. Por isso, a manufatura passa a ser considerada como um setor que, como nenhum outro, tem o potencial de criar vantagem competitiva sustentada através da excelência em suas práticas ([RAM1998]).

2.6 SISTEMAS DE ERP

Atualmente, fala-se muito no setor de informática em Sistemas de Gestão Empresarial, conhecidos por ERP (*Enterprise Resource Planning* - Planejamento de todos os Recursos da Empresa). Isto porque eles contemplam todas as áreas de uma empresa, desde o chão-de-fábrica à alta direção, permitindo um maior controle de todo o processo produtivo e disponibilizando elementos que podem facilitar a tomada de decisão pelos dirigentes da

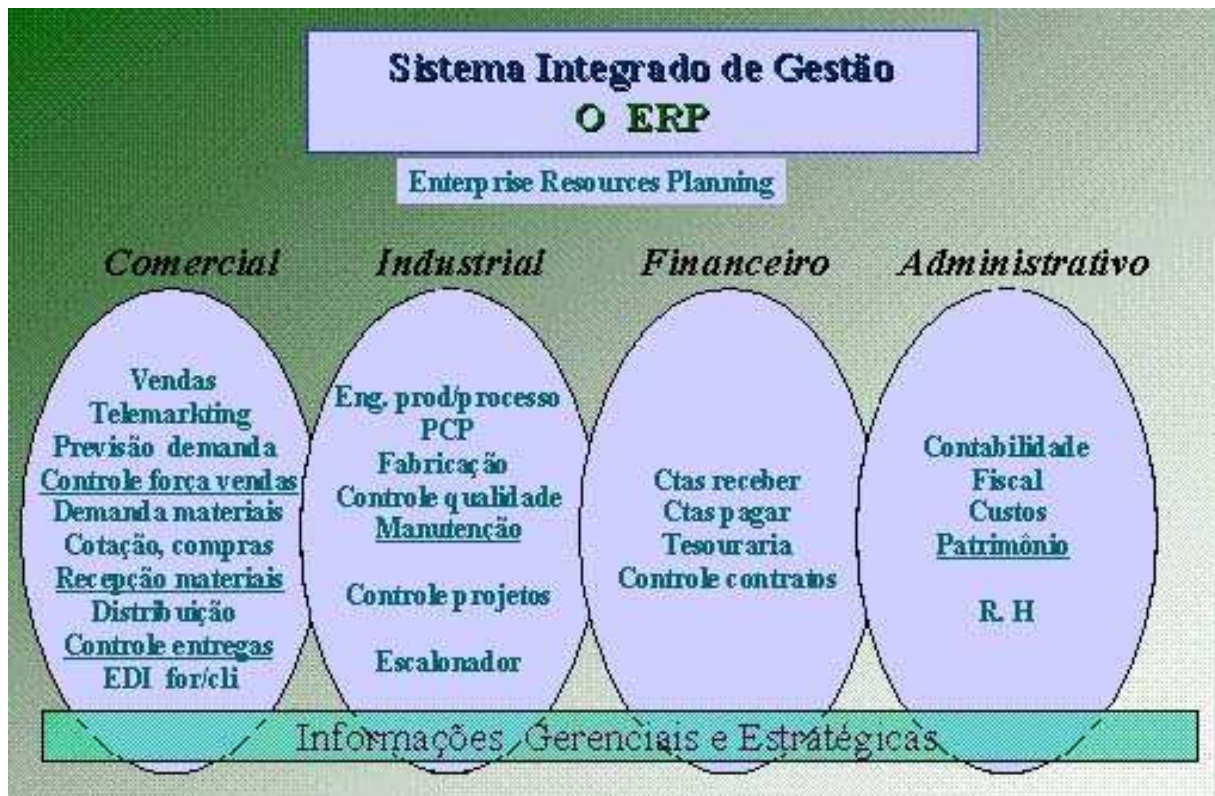
corporação. Na verdade, são versões avançadas dos famosos MRP (*Material Requirements Planning* – cálculo das necessidades de materiais) e MRP II (*Manufacturing Resources Planning* – planejamento dos recursos de manufatura), usados no planejamento da produção e controle de materiais. Na essência, os ERP vêm sendo usados desde os anos 70 nas grandes empresas. O ideal é que uma empresa tenha seu Sistema de Administração da Produção (SAP) e seu escalonador dentro de um sistema de ERP adequado. Pois daí que tudo isso realmente fará sentido, ou seja, a empresa realmente conseguirá vantagem perante seus competidores. O sistema de ERP fará a integralização de todas as áreas ou setores da empresa, para que dessa forma ela consiga chegar ao sincronismo entre esses setores.

Conforme [RAM1998], os ERP facilitam o manejo de dados em um universo transacional, entretanto os sistemas de sincronização são o complemento que viabiliza a otimização dos recursos produtivos.

Os sistemas do tipo ERP são considerados a espinha dorsal do processamento transacional de dados. Sua função é aplicável em áreas críticas de administração e planejamento. Por outro lado, a manufatura sincronizada é a coluna vertebral da otimização.

A figura 1 mostra a localização de um escalonador dentro do universo de um ERP:

Figura 1 - Escalonador dentro do universo ERP



2.7 SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO (SAP)

Conforme [RAM1998], é importante verificar as informações a respeito dos sistemas de produção mais utilizados, o nível de integração da produção e o grau de informatização do mesmo, como forma de se averiguar de que maneira as empresas vem adequando-se as novas realidades competitivas.

Este capítulo tratará de como os SAP geram dados que são elementos chave para um escalonador, assim como também suas funções estratégicas dentro desses aspectos.

2.7.1 INTRODUÇÃO

De acordo com [COR1996], os SAP são o coração dos processos produtivos. Eles têm o objetivo básico de planejar e controlar o processo de manufatura em todos seus níveis, incluindo materiais, equipamentos, pessoas fornecedores e distribuidores. É através dos SAP que a organização garante que suas decisões operacionais sobre o que, quando, quanto e com o que produzir e comprar sejam adequadas a suas necessidades estratégicas, que por sua vez

são ditadas por seus objetivos e seu mercado. Destaca-se aqui a necessidade gerencial de usar as informações para tomar decisões inteligentes. Os SAP não tomam decisões ou gerenciam sistemas – os administradores é que executam estas atividades.

Portanto, os SAP têm a função de suportar estes administradores para que possam executar sua função de forma adequada.

2.7.2 ATIVIDADES

De acordo com [COR1996] destacam algumas atividades típicas que devem ser suportadas pelos SAP:

- a) **planejar as necessidades futuras de capacidade** (qualitativa e quantitativamente) do processo produtivo, de forma que haja disponibilidade para atender ao mercado com os níveis de serviço compatíveis com as necessidades competitivas da organização;
- b) **planejar os materiais comprados**, de modo que eles cheguem no momento e nas quantidades certas, necessárias a manter o processo produtivo funcionando sem rupturas prejudiciais aos níveis pretendidos de utilização de seus recursos;
- c) **planejar níveis apropriados de estoques** de matéria-primas, semi-acabados e produtos finais nos pontos corretos, de forma a garantir que as incertezas do processo afetem o menos possível o nível de serviços aos clientes e o funcionamento suave da fábrica;
- d) **programar atividades de produção**, de forma que as pessoas e os equipamentos envolvidos no processo estejam, em cada momento, trabalhando nas coisas certas e prioritárias, evitando, assim, dispersão desnecessária de esforços;
- e) **ser capaz de saber da situação corrente** das pessoas, dos equipamentos, dos materiais, das ordens e de outros recursos produtivos da fábrica, de modo a poder informar e, de modo geral, comunicar-se de forma adequada com clientes e fornecedores;
- f) **ser capaz de reagir eficazmente**, reprogramando atividades bem e rápido, quando algo correr mal no processo ou quando situações ambientais inesperadas ocorrerem.
- g) **prover informações a outras funções** a respeito das implicações físicas e financeiras das atividades, presentes e prospectivas, da manufatura, contribuindo

para que os esforços de todas as funções possam ser integrados e coerentes.

- h) **ser capaz de prometer prazos** com precisão aos clientes e, depois, cumpri-los, mesmo em situações ambientais dinâmicas e, muitas vezes, difíceis de prever.

2.7.3 OS SAP E A VELOCIDADE DE ENTREGA

Diz o ditado: tempo é dinheiro. Para os sistemas de manufatura que pretendem ganhar competitividade hoje e no futuro, tempo é mais do que dinheiro: tempo é valor, já que tempos curtos economizam custos relevantes para o sistema produtivo e, ao mesmo tempo, beneficiam o cliente, servindo-o bem num critério que o mercado tem valorizado mais a cada dia: a rapidez de entrega. Mover informações e materiais de forma ágil está no coração de um sistema de manufatura enxuto e os prazos curtos de atendimento a clientes mostram-se como um dos principais e mais importantes critérios competitivos dos mercados de hoje e do futuro. [COR1996] ainda destaca as principais vantagens de se ter ciclos de produção curtos:

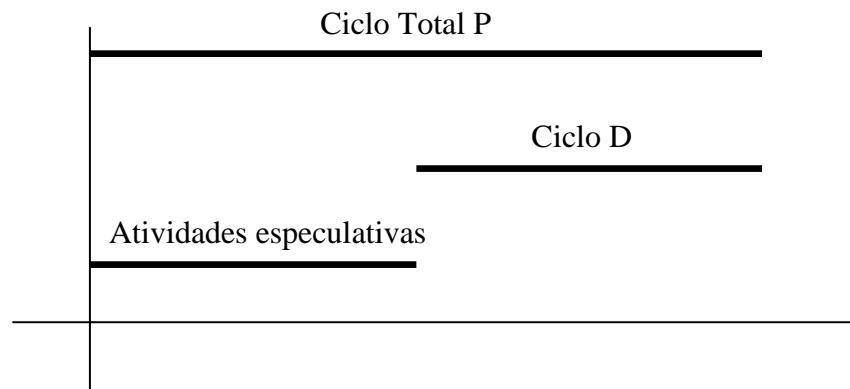
- a) **vantagens externas da redução dos tempos de entrega:** em tempos de mudanças freqüentes nos hábitos de consumo, estratificação de mercados e compressão dos ciclos de vida de produtos (causada pela necessidade mercadológica de se introduzirem novos produtos a intervalos menores), a rápida resposta às necessidades dos clientes ganha importância inusitada. A competitividade com base nos tempos chega ao ponto que a maioria dos melhores clientes do mercado mundial estaria disposta a pagar um prêmio para serem servidos rapidamente. Isto significa que as empresas que conseguirem reduzir seus tempos de entrega poderão comandar preços mais altos e, ao mesmo tempo, assegurar a lealdade dos melhores e mais cobiçados clientes do mercado. Pois com isso, estes clientes passam a necessitar planejar suas compras com antecedência menor e, portanto podem postergar suas decisões até uma data mais próxima da data na qual eles necessitam receber os bens adquiridos, gerando com isso para os clientes um poder de decisão com maior grau de certeza, já que as previsões, nas quais a decisão de comprar se baseiam, passam a ser de prazo mais curto e portanto, mais precisas. Embora não faça diferença para o cliente se ele for atendido a partir de um grande estoque de produtos acabados ou não, para o sistema de manufatura esta diferença é crucial. Dois sistemas podem obter, de formas diversas, os mesmos níveis de desempenho, em termos do tempo de entrega percebido pelo cliente. Um deles, por exemplo,

pode fazê-lo às custas de altos níveis de estoques de produtos finais ou de produtos semi-acabados, mesmo tendo um sistema de produção pouco ágil (sem velocidade). O outro, por outro lado, pode obter os mesmos níveis de tempos de entrega percebidos pelo cliente, sem a necessidade de utilizar altos níveis de estoques, mas através da velocidade de fluxos, a partir de um sistema ágil e enxuto, sem desperdícios e estoques excessivos. A diferença entre os dois é que o sistema veloz, além das vantagens externas, é capaz de capitalizar as vantagens internas da redução dos tempos de ciclo, enquanto o sistema com altos estoques será apenas capaz de capitalizar as vantagens externas.

b) vantagens internas da redução dos tempos:

- velocidade reduz a quantidade de atividades especulativas: como exemplo, seja P a duração total do seu ciclo de produção, incluindo os tempos de obtenção de todos os insumos, tempos de fabricação, montagem, embalagem e distribuição e seja D o tempo de ciclo percebido pelo cliente, desde a colocação de seu pedido até o recebimento do produto, chega-se a conclusão de que, numa maioria de casos, quando se produz para estoque e se monta contra pedido, a relação entre P e D , numa escala de tempos, como é mostrado na figura 2. Em geral, o cliente não está disposto a esperar o tempo total do ciclo P do fornecedor para receber seu produto. Por isso, o fornecedor inicia algumas de suas atividades (como compra de alguns componentes, matérias primas e a produção de alguns semi-acabados) e estoca os produtos destas atividades antes mesmo de ter um pedido de compra firme colocado. Estas atividades são denominadas de especulativas, pois são baseadas em previsões, porque o fornecedor só terá certeza da utilidade real de suas ações especulativas quando recebe um pedido firme do cliente. Quanto maior o período de tempo entre o início das atividades especulativas e a colocação do pedido firme do cliente, maior o volume de atividades especulativas e, portanto, maior o risco envolvido de estas atividades se mostrarem inúteis ou desperdiçadas (caso o pedido nunca venha). A redução do ciclo P , ou, em outras palavras, o aumento da velocidade do processo é uma das formas mais evidentes de se reduzir a diferença entre P e D e, portanto, reduzir o volume de atividades especulativas dentro da organização.

Figura 2 - Ciclos no processo produtivo



Fonte: ([COR1996])

- velocidade permite melhores previsões: eventos distantes no futuro são mais difíceis de prever e, geralmente, as previsões resultam piores quanto mais distante o futuro previsto. Se o ciclo de produção P é mais curto, as previsões que têm de ser feitas são a respeito de um futuro mais próximo e, portanto, é provável que tenham melhor qualidade. Isto gera decisões melhores e, portanto, menor necessidade de ações corretivas posteriores.
- velocidade reduz custos administrativos: quanto mais tempo determinada OP gasta dentro do sistema produtivo, mais custos ela consome: custos com controle do material, com armazenagem, movimentação, entre outros. Uma OP que passa rápido pelos processos necessita muito menos atenção gerencial e, portanto, consome menos recursos da organização. Estes recursos podem, se economizados no controle de estoques improdutivos, ser direcionados para o planejamento e as melhorias do processo.

2.7.4 RAZÃO DA UTILIZAÇÃO DE UM SAP

Os SAP têm um papel estratégico na nova realidade competitiva. Os SAP envolvem, hoje, decisões que afetam o desempenho do sistema de produção, em termos dos principais critérios competitivos da manufatura: custos, qualidade, velocidade de entregas, confiabilidade de entregas e flexibilidade ([COR1996]).

Os SAP também têm um papel importante em dois aspectos fundamentais para as empresas que pretendem preparar-se para a nova realidade competitiva: a quebra das barreiras

organizacionais e a gestão da rede de suprimentos. O aspecto integrativo dos SAP faz deles, se bem gerenciados, mecanismos importantes para se obter uma rede de suprimentos global coordenada e sem barreiras intersetoriais, que consiga excelência nos critérios que o cliente final valoriza, sem dispersão de esforços ([COR1996]).

Os SAP suportam as atividades ou tarefas destinadas à área de Planejamento e Controle da Produção (PCP), conforme será exposto a seguir.

2.8 PCP

Em um sistema de manufatura, toda vez que são formulados objetivos, é necessário formular planos de como atingi-los, organizar recursos humanos e físicos necessários para a ação, dirigir a ação dos recursos humanos sobre os recursos físicos e controlar esta ação para a correção de eventuais desvios. No âmbito da administração da produção, este processo é realizado pela função de PCP.

Para atingir seus objetivos e aplicar adequadamente seus recursos, as empresas não produzem ao acaso, nem funcionam improvisadamente. Elas precisam planejar antecipadamente e precisam controlar adequadamente sua produção. Para isto existe o PCP.

2.8.1 CONTRIBUIÇÃO

[RUS1995] afirma que a crescente oferta de materiais e produtos de todas as partes do mundo é um fato incontestável. Isso tem jogado as empresas numa competição de âmbito mundial com desafios decisivos.

A competição mundial traz consigo crescentes exigências por parte dos consumidores. Melhor qualidade, maior variação de modelos, entregas mais confiáveis e menores custos tornam-se parte das expectativas dos consumidores.

No quadro 1, apresenta-se uma especulação sobre essas expectativas para a próxima década.

Quadro 1 - Especulação sobre essas expectativas para a próxima década

Qualidade [% de defeitos]	5	0,5
Tempo de Entrega [mês]	18	2
Precisão na Entrega [dia]	30	1
Tolerância na Entrega [dia]	30	0
% de Personalização	5	30
Custo [US\$ 1000]	35	15

Fonte: ([RUS1995])

Conforme [RUS1995], embora sejam dados que possam parecer estranhos a primeira vista pelas mudanças drásticas para cada uma dessas variáveis, eles servem para assinalar a direção das exigências da demanda que as empresas que pretendem se manter no mercado devem considerar, no qual, os PCP representam um papel decisivo entre as ações que vêm sendo tomadas para enfrentar esses desafios.

2.8.2 CONCEITOS

Na visão de [RUS1995], PCP é uma função de apoio de coordenação das várias atividades de acordo com os planos de produção, de modo que os programas preestabelecidos possam ser atendidos com economia e eficiência. Também como uma função de apoio de coordenação. Portanto sua atividade não é uma atividade-fim e sim uma atividade-meio. É um meio, um apoio para produção e compras cumprirem suas finalidades de acordo com vendas. É um apoio de coordenação e não um apoio especializado. Em seguida, o PCP precisa entender um pouco de tudo e se envolver em quase todos os problemas da indústria. Seu enfoque é global e não particular, especializado.

[RAM1998] considera o PCP como um elemento central na estrutura administrativa de um sistema de manufatura, passando a ser um elemento decisivo à integração da manufatura.

Já [REZ1992] define PCP como uma função administrativa que consiste basicamente num conjunto de funções interligadas, que objetivam orientar todo o processo produtivo e coordená-lo com os setores administrativos da empresa.

Controle da produção é a função da administração que planeja, dirige e controla o suprimento de material e as atividades de processamento de uma indústria, de modo que os produtos especificados sejam produzidos por métodos preestabelecidos para conseguir um programa de vendas aprovado; essas atividades são desempenhadas de tal maneira que recursos humanos, facilidades e capital disponíveis são usados com a máxima vantagem. Ele envolve geralmente a organização e o planejamento dos processos de fabricação. Especificamente, se constitui no planejamento do seqüenciamento de operações, da programação da movimentação e da coordenação da inspeção, e no controle de materiais, métodos, ferramental e tempos operacionais. O objetivo final é a organização do suprimento e movimentação dos recursos humanos, utilização de máquinas e atividades relacionadas, de modo a atingir os resultados de produção desejados, em termos de quantidade, qualidade, prazo e lugar ([RUS1995]).

As principais finalidades do PCP são:

- a) atender o prazo de entrega;
- b) aumentar a eficiência;
- c) aumentar a eficácia.

2.8.3 FUNÇÕES

Conforme [VOL1998], as funções básicas do PCP são duas:

- a) planejar a produção – o PCP estabelece antecipadamente o que a empresa deverá produzir, e conseqüentemente o que deverá dispor de matérias-primas e materiais, de pessoas, de máquinas e equipamentos, bem como de estoques de produtos acabados para suprir as vendas;
- b) controle da produção – o PCP monitora e controla o desempenho da produção em relação ao que foi planejado, corrigindo eventuais desvios ou erros que possam surgir.

O PCP atua antes, durante e depois do processo produtivo. Antes, planejando o processo produtivo, programando materiais, máquinas, pessoas e estoques. Durante e depois, controlando o funcionamento do processo produtivo para mantê-lo de acordo com o que foi planejado.

2.8.4 FUNCIONAMENTO

Para poder funcionar satisfatoriamente, o PCP precisa de muitas informações. Na realidade, o PCP recolhe dados e produz informações incessantemente, sendo um centro de informações para a produção. O PCP apresenta quatro fases principais, que são as seguintes:

a) Projeto de Produção: Nesta fase, procura-se definir como o sistema de produção funciona e quais as dimensões para se estabelecer os parâmetros do PCP. O projeto de produção é relativamente permanente e sofre poucas mudanças com o tempo, a não ser que o sistema de produção passe por alterações como a aquisição de novas máquinas, mais pessoal, novas tecnologias, entre outras. O projeto de produção constitui um esquema básico que se fundamenta nos seguintes aspectos do sistema de produção da empresa:

- quantidade e características das máquinas e equipamentos em cada setor, para se conhecer a capacidade de produção das máquinas de cada setor da empresa;
- quantidade de pessoal disponível, ou seja, o efetivo de empregados e cargos ocupados em cada setor, para se conhecer a capacidade de trabalho de cada setor;
- volume de estoques e tipos de matérias-primas, bem como procedimentos de requisição de materiais ao almoxarifado, para se conhecer a disponibilidade de insumos de produção;
- métodos e procedimentos de trabalho, bem como cálculos dos tempos de execução das tarefas dos boletins de operação, para se conhecer como o trabalho deve ser realizado e qual a sua duração;

b) Coleta de Informações: Esta fase resume-se na coleta de informações para que o esquema do projeto de produção possa ser devidamente montado, quantificado e dinamizado. A coleta de informações tem por finalidade dar subsídios para a formulação do plano de produção e engloba os seguintes fatores:

- capacidade de cada máquina, de cada grupo de máquinas, e fatores de eficiência e de demora para cada máquina. Esta informação proporciona a capacidade de produção de cada máquina e de cada setor produtivo da empresa;
- seqüência do processo de produção, ou seja, a movimentação das matérias-primas ao longo do processo produtivo e seus gargalos ou demora. Esta

informação permite uma visão de todo o fluxo de produção, ou seja, de toda a cadência e seqüência do processo produtivo da empresa;

- métodos de trabalhos de cada operário e tempo-padrão para cada tarefa executada. Esta informação permite saber quantos operários são necessários em cada máquina, e em cada setor produtivo da empresa;
- horário de trabalho e esquema de incentivos de produção. Esta informação permite conhecer qual a carga normal de trabalho a ser atribuída a cada setor produtivo da empresa e qual a carga adicional que se poderia obter com a adoção de incentivos de produção (prêmios de produção);
- volume de estoque para cada item de matéria-prima e controles de estoque. Esta informação permite saber qual o volume de estoque de matéria-prima necessário para abastecer o processo produtivo durante determinado período de tempo.

c) planejamento da produção: O planejamento da produção (PP) visa estabelecer a prioridade do que a empresa deverá produzir em um determinado período de tempo, tendo em vista, de um lado a sua capacidade de produção e, de outro, a previsão de vendas que deve ser atendida. O PP visa compatibilizar a eficácia (alcance dos objetivos de vendas) e a eficiência (utilização rentável dos recursos disponíveis). O PP procura coordenar e integrar máquinas, pessoas, matérias-primas, materiais em vias e processos produtivos. O PP é realizado em três etapas:

- elaboração do plano de produção ou plano-mestre, representa aquilo que a empresa pretende produzir dentro de um determinado exercício ou período de tempo;
- implementação do plano de produção através da programação da produção. A partir da elaboração do plano de produção, o PCP passa a cuidar da programação da produção, que é o detalhamento do plano de produção para que ele possa ser executado de maneira integrada e coordenada pelos diversos setores produtivos e assessoria. Programar produção é determinar quando deverão ser realizadas as tarefas e operações de produção e quanto deverá ser feito. A programação da produção detalha e fragmenta o plano de produção para que possa ser executado no dia-a-dia da empresa, para tanto, a programação da produção faz o roteiro (seqüência do processo produtivo) e o estabelecimento de datas de início e fim de cada atividade.

- execução do plano de produção é feita através das ordens (produção, compra, almoxarifado, etc) que representam as decisões que cada setor deverá executar para que todo o processo produtivo se desenvolva da melhor maneira possível;
- d) Controle da produção: a finalidade do controle da produção (CP) é acompanhar, avaliar e regular as atividades produtivas, para mantê-las dentro do que foi planejado e assegurar que atinjam os objetivos pretendidos. Além disso verifica se as coisas foram executadas de acordo com os planos, com os esquemas e com as OP transmitidas. O CP visa duas finalidades principais:
- correção de falhas ou erros existentes, o CP serve para detectar falhas ou erros, seja no planejamento ou na execução para apontar as medidas corretivas para saná-las;
 - prevenção de novas falhas ou erros, ao corrigir as falhas ou erros existentes, CP aponta os meios para evitá-los no futuro.

2.8.5 ATUAÇÃO

O PCP atua dentro da empresa como um sincronizador do sistema de produção, fazendo com que o planejamento, a direção e o controle persigam os mesmos resultados. Recebidas informações sobre vendas, estoques, linha de produtos e máquinas, cabe ao PCP transformar essas informações de uma tal maneira que cada item se torne o menos oneroso possível para a empresa ([VOL1998]).

2.8.6 FLUXO DO PCP COM OS SETORES QUE INTERAGE

O PCP mantém uma rede de relações com as demais áreas da empresa. As inter-relações entre o PCP e as demais áreas da empresa se devem ao fato de que o PCP procura utilizar racionalmente os recursos empresariais, sejam eles materiais, humanos, financeiros, etc. Assim, as principais inter-relações do PCP com as demais áreas da empresa são as seguintes:

- a) engenharia de produto – o PCP programa o funcionamento de máquinas e equipamentos e se baseia em boletins de operações fornecidos pela Engenharia;
- b) produção – o PCP planeja e controla a atividade da área de produção;
- c) suprimentos e compras – o PCP programa materiais e matérias-primas que devem ser obtidos no mercado fornecedor através do setor de Compras e estocados pelo

setor de Suprimentos;

- d) recursos humanos – o PCP programa a atividade da mão-de-obra, estabelecendo a quantidade de pessoas que devem trabalhar no processo de produção;
- e) financeira – o PCP se baseia nos cálculos financeiros fornecidos pela área financeira para estabelecer os níveis ótimos de estoques de matérias-primas e produtos acabados, além dos lotes econômicos de produção.

2.8.7 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

A capacidade de produção é geralmente uma grandeza numérica através da qual se pode medir a quantidade de vezes que se poderá produzir um produto em um determinado período de tempo.

Existem dois tipos de capacidade de produção:

- a) capacidade instalada: é a capacidade máxima de produção que a empresa pode atingir com a plena utilização de suas instalações e equipamentos (recursos disponíveis 24 horas por dia);
- b) capacidade utilizada: é a capacidade real que a empresa utiliza em termos de equipamentos, recursos humanos e financeiros disponíveis em um determinado período.

Para avaliar existem três unidades de medida de capacidade de produção:

- a) medida de tempo: a capacidade de produção é avaliada em função do tempo. É o caso de homens/horas de trabalho, carga horária máquina, etc;
- b) quantidade de produtos: a capacidade de produção é medida em volumes unitários de produtos que a empresa pode produzir em um dado período. É o caso da produção por hora, por dia, por semana, etc;
- c) unidades monetárias: a capacidade de produção é medida em valores financeiros ou monetários. As unidades de produção produzidas são multiplicadas pelos preços cobrados proporcionando o resultado financeiro da produção realizada.

Assim a capacidade de produção pode ser medida tanto em número de homens-horas de trabalho disponíveis para uma certa atividade, como pela quantidade de produtos que é capaz de produzir por hora ou por dia, como ainda pelo faturamento que pode garantir por

hora ou por dia de atividade. Cada empresa escolhe a unidade de medida mais adequada às suas características.

2.8.8 TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO APLICÁVEIS AO PCP

Nos últimos anos, poucas áreas da Administração de Empresas mudaram tanto como a Administração da Produção ([COR1996]). As razões por trás deste renovado interesse podem ser classificadas em três categorias principais. A primeira é a crescente pressão por competitividade que o mercado mundial tem exigido das empresas, com a queda de importantes barreiras alfandegárias protecionistas e o surgimento de novos concorrentes bastante capacitados. A segunda razão é o potencial competitivo que representa o recente desenvolvimento de novas tecnologias de processo e de gestão de manufatura. A terceira razão está relacionada ao recente desenvolvimento de um melhor entendimento de papel estratégico que a produção pode e deve ter no atingimento dos objetivos globais da organização ([COR1996]). Desta forma, a empresa busca unificar sob uma mesma orientação, a sustentação necessária ao gerenciamento global, bem como, a estrutura de apoio das técnicas auxiliares para a organização industrial.

Estas técnicas orientam e apóiam a organização industrial em seu gerenciamento global na execução e solução de problemas de planejamentos, estratégias, projetos de produtos, mercados, fluxo integrado do processo industrial, sistemas logísticos, sistemas de informações e dados, pessoas, qualidade, produtividade, lucratividade, etc., com a finalidade de alcançar vantagens competitivas em seu ambiente organizacional.

2.9 JUST IN TIME (JIT)

O *Just In Time* (JIT) surgiu no Japão, nos meados da década de 70, sendo sua idéia básica e seu desenvolvimento creditados à Toyota Motor Company, a qual buscava um sistema de administração que pudesse coordenar a produção com a demanda específica de diferentes modelos e cores de veículos com o mínimo atraso ([COR1996]).

Conforme [COR1996], o JIT é muito mais do que uma técnica ou um conjunto de técnicas de administração da produção, sendo considerado como uma completa “filosofia”, a

qual inclui aspectos de administração de materiais, gestão da qualidade, arranjo físico, projeto do produto, organização do trabalho e gestão de recursos humanos. Estas são algumas expressões que geralmente são utilizadas para traduzir aspectos da filosofia JIT:

- a) produção sem estoques;
- b) eliminação de desperdícios;
- c) manufatura de fluxo contínuo;
- d) esforço contínuo na resolução de problemas;
- e) melhoria contínua dos processos.

[LUB1989] define a filosofia JIT como:

- a) Uma filosofia de administração que está constantemente enfocando a eficiência e integração do sistema de manufatura utilizando o processo mais simples possível;
- b) Dedicção ao processo de esforçar-se continuamente para minimizar os elementos no sistema de manufatura que restrinjam a produtividade.

Já para [ANT1989], a filosofia JIT se constitui em uma estratégia de competição industrial, objetivando fundamentalmente dar uma resposta rápida às flutuações do mercado (orientado para o consumidor), associando a isto um elevado padrão de qualidade e custos reduzidos dos produtos.

Suas raízes provém da cultura japonesa onde refugo, retrabalho e desperdícios são inaceitáveis, o que conduz a uma constante busca da qualidade absoluta e do custo mínimo ([RUS1995]).

2.9.1 OBJETIVOS

[RUS1995] diz que o objetivo do sistema de produção JIT é o de aumentar o retorno sobre o investimento da empresa através do aumento da receita, da redução de custos e do imobilizado e da participação dos empregados no processo produtivo. O JIT propõe-se a fazer um produto em fluxo balanceado e sincronizado segundo as necessidades do consumidor com o mínimo absoluto de recursos.

Segundo [COR1996], o sistema JIT tem como objetivo fundamental a melhoria contínua do processo produtivo. A perseguição destes objetivos dá-se através de um mecanismo de redução dos estoques, os quais tendem a camuflar problemas.

Os estoques têm sido utilizados para evitar descon continuidades do processo produtivo, diante de problemas de produção que podem ser classificados principalmente em três grandes grupos ([COR1996]):

- a) problemas de qualidade: quando alguns estágios do processo de produção apresentam problemas de qualidade, gerando refugo de forma incerta, o estoque, colocado entre estes estágios e os posteriores, permite que estes últimos possam trabalhar continuamente, sem sofrer com as interrupções que ocorrem em estágios anteriores. Dessa forma, o estoque gera independência entre os estágios do processo produtivo;
- b) problemas de quebra de máquina: quando uma máquina pára por problemas de manutenção, os estágios posteriores do processo que são alimentados por esta máquina teriam que parar, caso não houvesse estoque suficiente para que o fluxo de produção continuasse, até que a máquina fosse reparada e entrasse em produção normal novamente. Nessa situação, o estoque também gera independência entre os estágios do processo produtivo;
- c) problemas de preparação de máquina: quando uma máquina processa operações em mais de um componente ou item, é necessário preparar a máquina a cada mudança de componente a ser processado. Essa preparação representa custos referentes ao período inoperante do equipamento, à mão-de-obra requerida na operação, entre outros. Quanto maiores estes custos, maior tenderá a ser o lote a ser executado, para que estes custos sejam rateados por uma quantidade maior de peças, reduzindo, por consequência, o custo por unidade produzida. Lotes grandes de produção geram estoques, pois a produção é executada antecipadamente à demanda, sendo consumida por esta em períodos subsequentes.

Como se vê, o estoque funciona como um investimento necessário quando problemas como os citados estão presentes no processo produtivo. O objetivo da filosofia JIT é reduzir os estoques, de modo que os problemas fiquem visíveis e possam ser eliminados através de esforços concentrados e priorizados. Quanto maior for a redução dos estoques, com certeza tornam-se mais visíveis os problemas mais críticos da produção, ou seja, possibilita-se um ataque priorizado. À medida que estes problemas vão sendo eliminados, reduzem-se mais e mais os estoques, localizando-se e atacando-se novos problemas “escondidos”. Com esta prática, o JIT visa fazer com que o sistema produtivo alcance melhores índices de qualidade,

maior confiabilidade de seus equipamentos e fornecedores e maior flexibilidade de resposta, principalmente através da redução dos tempos de preparação de máquinas, permitindo a produção de lotes menores e mais adequados à demanda do mercado ([COR1996]).

2.9.2 CARACTERÍSTICAS

2.9.2.1 REDUÇÃO DO TEMPO DE FABRICAÇÃO

Na produção tradicional sempre houve pouco empenho na redução do tempo de preparação aceitando grandes lotes de fabricação. Na produção JIT procura-se a redução deste. Através da redução do tempo de preparação é possível trabalhar com lotes menores (além de se reduzir o tempo total de processo) ([RUS1995]).

Além disso aumenta-se a disponibilidade da máquina (isto somente ocorrerá quando a taxa de utilização da máquina for alta). Também reduz o ciclo de fabricação: à medida que o tempo de preparação diminui, a preparação de máquina deixa de ser um fator determinante do lote de fabricação ([RUS1995]).

Segundo [RUS1995], para uma redução do tempo de preparação deve-se:

- a) separar as tarefas que o compõem em internas (que exigem paralisação de máquina) e externas (que podem ser realizadas com a máquina funcionando);
- b) em seguida, deve-se converter, o máximo possível, as tarefas internas em externas. Exemplo: uso do carrinho para movimentação de pequenas matrizes;
- c) também é importante reduzir o ajuste da ferramenta (que representa de 50 a 70% das tarefas internas); pode ser atingido, por exemplo, com uso de ferramentas com pinos posicionadores;
- d) assim como reduzir a frequência da troca de ferramentas; para isso deve-se projetar o máximo de peças comuns para vários produtos e programar a fabricação de famílias de peças, isto é, grupo de peças de características técnicas semelhantes podendo usar preparações semelhantes.

2.9.2.2 DISPOSIÇÃO FÍSICA DAS MÁQUINAS

Um sistema JIT exige muitas alterações no que se refere à disposição física do equipamento da fábrica, ou seja, forma de dispor as facilidades produtivas no espaço

desembaraçado da fábrica (mais conhecida pelo termo em inglês – “*layout*”). Esta precisa ser apropriada com o fluxo mais claro, lotes de fabricação reduzidos, qualidade absoluta, máquinas com poucas falhas, instruções concisas e, principalmente, identificação imediata dos problemas ([RUS1995]).

[RAM1998] diz que o *layout* do processo de produção é celular, dividindo-se os componentes produzidos em famílias com determinados roteiros de produção e formas similares; dessa forma pode-se reduzir o tempo de movimentação das partes componentes desse produto e o tempo gasto com a preparação de equipamentos.

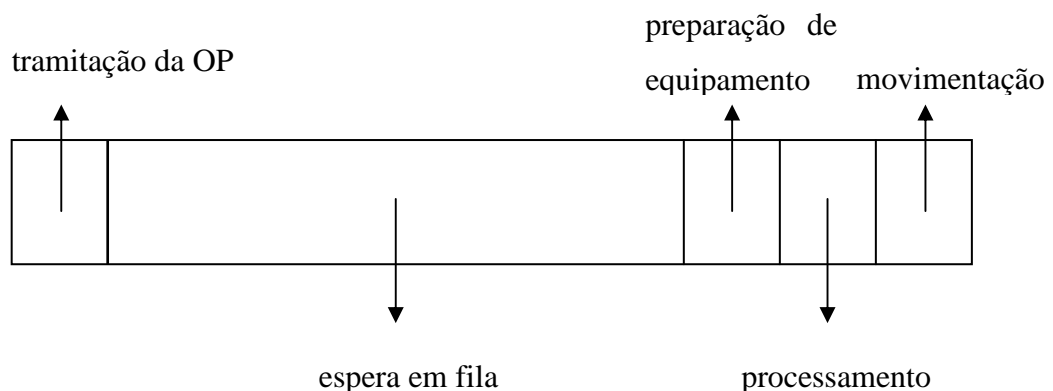
[COR1996] reforçam dizendo que o *layout* celular do sistema JIT em forma de U apresentarão algumas vantagens:

- a) menos estoque de produtos em processo;
- b) menores custos de movimentação de materiais;
- c) menores *lead times* de produção. O *lead time* de produção é chamado ao tempo que decorre desde o momento em que uma OP é colocada até que o material esteja disponível para uso, é composto pelos seguintes elementos:
 - tempo de tramitação da OP – tempo gasto para liberação da OP, a qual no JIT é extremamente baixo, podendo utilizar cartões (*kanban*) ou outro meio de fácil comunicação, reduzindo esse tempo a praticamente zero;
 - tempo de espera em fila – esta parcela do *lead time* responde por mais de 80% do tempo total, em processos do tipo *job shop* que utilizam a abordagem tradicional de administração da produção. Este é o elemento do *lead time* mais importante de ser atacado pela filosofia JIT. O tempo que uma OP deve esperar em fila é resultante da soma dos tempos de preparação da máquina e processamento de cada uma das ordens que serão executadas anteriormente a esta. Uma forma de reduzir o tempo de fila é reduzir os lotes de produção de todas as ordens na fábrica, assim como reduzir os tempos de preparação das máquinas. Estas duas providências já fazem parte do sistema JIT. Outra providência é executar o balanceamento das linhas de maneira eficaz, não permitindo a formação de estoques entre os postos de trabalho. Finalmente, a coordenação dos diversos estágios da produção, para que produzam somente o que e quando estágios posteriores requererem, também contribui para a redução

do estoque em processo, reduzindo o tempo de fila. Esta última providência é garantida pelo sistema *kanban*;

- tempo de preparação da máquina – para reduzir esse tempo, existem várias formas, dentre elas: documentar como o *setup* é feito atualmente; separar criteriosamente o *setup* interno do *setup* externo (*setup* interno é aquele que exige a paralisação da máquina e *setup* externo são as tarefas que podem ser realizadas com a máquina funcionando); converter, na medida do possível, o *setup* interno em *setup* externo; preparar o próximo processo de *setup* cuidadosamente e bem antes do momento em que este será necessário; modificar o equipamento para permitir uma preparação fácil e uma pequena necessidade de ajustes; desenvolver métodos de modo a possibilitar a uma só pessoa executar a maior parte do *setup*;
- tempo de processamento – segundo a filosofia JIT, o tempo de processamento é o único que vale a sua duração, pois nele se agrega valor ao produto. O enfoque adotado é utilizar bem o tempo necessário para que se produza com qualidade e sem erros;
- tempo de movimentação – o tempo de movimentação é reduzido pela utilização do *layout* celular, reduzindo-se assim as distâncias de transporte. Outra providência no sentido de reduzir este tempo é trabalhar com lotes pequenos que podem ser movimentados rapidamente. A figura 3 demonstra a composição do *lead time*:

Figura 3 - Composição do lead time



Fonte: ([COR1996])

2.9.2.3 POLÍTICA DE FORNECEDORES

Sob o sistema JIT os fornecedores são tratados de modo diferente do que no sistema tradicional. São considerados como parte da equipe de produção. Recebem instruções e recipientes padronizados e são solicitados a fazer entregas freqüentes, “just-in-time”, para o próximo estágio da produção ([RUS1995]).

2.9.2.4 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

As previsões de venda servem apenas para dimensionar o sistema produtivo, pois a programação é feita pela própria estrutura de produção, em função da demanda; diferentemente do sistema convencional, onde as previsões de venda servem tanto para dimensionar o sistema produtivo quanto para programar a produção propriamente dita ([RAM1998]).

2.9.2.5 MÃO-DE-OBRA POLIVALENTE E PRÓ-ATIVA (CÍRCULOS DE CONTROLE DE QUALIDADE)

No JIT os funcionários são tratados como colaboradores e, em contrapartida, acabam “vestindo a camisa da empresa”. É, sem dúvida, a característica mais marcante desse sistema e que responde por grande parte do sucesso da indústria japonesa. Na produção tradicional esse assunto não é novidade porém não tem sido adotado com a generalidade e profundidade desejada ([RUS1995]).

2.9.2.6 QUALIDADE ABSOLUTA

A qualidade absoluta é essencial no sistema JIT onde não são previstas folgas para retrabalho nem estoques para cobrir problemas de produção. Essa exigência acaba funcionando como um estímulo para a própria qualidade absoluta ([RUS1995]).

Segundo [RUS1995], no JIT a abordagem da qualidade apresenta as seguintes características:

- a) a responsabilidade pela qualidade é de quem faz a peça – operário ou fornecedor (podem existir inspetores para verificações que exigem equipamento especializado);
- b) essa responsabilidade é uma função contínua e começa no projeto e vai fluindo de cima para baixo;

- c) os erros, se existirem, são descobertos e corrigidos na fonte;
- d) o retrabalho, se necessário, é feito pelo próprio operário em horas ociosas;
- e) cada operário deve exigir que o material e ferramentas recebidos não apresentem defeitos;
- f) os padrões mensuráveis de qualidade ficam expostos nos vários centros de produção para conhecimento de todos.

2.9.2.7 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

O conceito de manutenção produtiva total foi desenvolvido com o objetivo de garantir a disponibilidade do equipamento quando necessário. Isso se consegue revisando as máquinas programadamente e trocando-se alguns componentes mesmo sem defeito ([RUS1995]).

Conforme [RUS1995], para isso, algumas etapas se fazem necessárias:

- a) entrosamento com a fabricação – a inexistência de objetivos comuns entre manutenção e produção pode impedir o desenvolvimento eficiente deste programa;
- b) lubrificação diária executada pelo operador – essa atribuição é parte integrante da rotina de operação; deste modo, ele se conscientiza da sua responsabilidade com a sua máquina;
- c) operação em um único turno de trabalho – operando em um só turno, torna-se possível a concentração das operações de emergência após o expediente ou durante os fins de semana;
- d) operação cadenciada, sem forçar o desgaste – procurando trabalhar sempre abaixo da capacidade máxima da máquina, os desgastes e, por conseguinte, as quebras podem ser substancialmente reduzidos;
- e) manutenção proporcional à utilização do equipamento – a prioridade do programa de manutenção deve ser orientada para as máquinas de maior utilização.

2.9.2.8 LIMPEZA E ARRUMAÇÃO DA FÁBRICA

Esta é uma atitude tipicamente japonesa que enfatiza não se pode trabalhar com qualidade e produtividade em um ambiente sujo e desorganizado ([RUS1995]).

Os operários são responsáveis por arrumar e manter limpo o seu local de trabalho, bem como seus objetos de trabalho (a conservação das instalações também exige uma atitude participativa do pessoal) ([RUS1995]).

2.9.2.9 USO DE DISPOSITIVOS DE CONTROLE SENSORIAIS (SISTEMA KANBAN DE MOVIMENTAÇÃO DE ORDENS E MATERIAIS)

Num sistema sem folgas as informações têm que fluir de forma praticamente instantânea (de preferência automática e visual) tornando muito difundido o uso de painéis luminosos, alarmes sonoros ou cartões de identificação ([RUS1995]).

O sistema “*Kanban*”, que já existia antes da consolidação das regras do JIT, se constitui num verdadeiro PCP, “físico” pelo menos no que se refere à emissão, programação e movimentação de ordens ([RUS1995]).

[RAM1998] lembra que um sistema JIT apresenta a característica de “puxar” a produção ao longo do processo, de acordo com a demanda, isto é, o material somente é processado em uma operação se o mesmo é requerido em uma operação subsequente do processo. Diferentemente da abordagem tradicional, onde os sistemas “empurram” a produção desde a compra de matéria-prima e componentes até os estoques de produtos acabados.

2.9.2.10 ÊNFASE

Conforme [RAM1998], a filosofia JIT coloca a ênfase da gerência no fluxo de produção e não na maximização da utilização da capacidade. Adotando o princípio de “puxar” a produção a partir da demanda, garante que os equipamentos sejam utilizados apenas nos momentos necessários. Porém, nada impede que outras técnicas sejam integradas à essa filosofia a fim de alcançar mais esse objetivo da melhor utilização possível da capacidade produtiva.

2.9.3 LIMITAÇÕES DO JIT

As principais limitações do JIT estão ligadas à flexibilidade de faixa do sistema produtivo, no que se refere à variedade de produtos oferecidos ao mercado e a variações de demanda de curto prazo. O sistema JIT requer que a demanda seja estável para que se consiga

um balanceamento adequado dos recursos, possibilitando um fluxo de materiais suave e contínuo. Caso a demanda seja muito instável, há a necessidade de manutenção de estoques de produtos acabados em um nível tal, que permita que a demanda efetivamente sentida pelo sistema produtivo tenha certa estabilidade ([COR1996]).

Como o sistema *Kanban* prevê a manutenção de certo estoque de componentes entre os centros de produção, conforme foi descrito, se houver uma variedade muito grande de produtos e de componentes, o fluxo de cada um não será contínuo e sim intermitente, gerando altos estoques em processo para cada item, principalmente considerando-se a demanda de cada um. Isto contrariaria uma série de princípios da filosofia JIT, comprometendo sua aplicação. Outro problema resultante da grande variedade de produtos seria a conseqüente complexidade dos roteiros de produção. O princípio geral de transformação do processo produtivo numa linha contínua de fabricação e montagem de produtos fica prejudicado se um conjunto de roteiros preferenciais não pode ser estabelecido ([COR1996]).

Finalmente, a redução de estoques do sistema pode aumentar o risco de interrupção da produção em função de problemas de administração da mão-de-obra, como greves, por exemplo, tanto na própria fábrica como na de fornecedores. Da mesma forma, o risco de paralisação por quebras de máquinas também é aumentado.

2.9.4 RESULTADOS

Conforme [COR1996], a filosofia JIT contribuirá para com as principais prioridades competitivas como qualidade, flexibilidade, custos, velocidade de entrega, confiabilidade de entrega, assim como também na redução do espaço físico, redução do *setup*, redução do *lead time*, que juntos, resultarão em benefícios que proporcionarão:

- a) redução de todo o tipo de desperdício;
- b) alta flexibilidade na produção;
- c) forte integração entre as atividades do sistema de manufatura;
- d) envolvimento e motivação dos operários;
- e) produtos de alta qualidade e a baixo custo.

Benefícios estes fundamentais para que a empresa possa competir no mercado. Pode-se dizer, então, que, quando adotado, o sistema de produção JIT propicia um grande aperfeiçoamento no desempenho da manufatura, através do desenvolvimento de metas e objetivos estratégicos adequados a nova realidade observada nos dias atuais.

2.10 MRP II

O MRP II (*Manufacturing Resource Planning* - Planejamento dos Recursos da Manufatura) vem transformando o panorama da indústria, introduzindo melhorias na maneira de gerenciar a manufatura das companhias da América do Norte, Europa Ocidental, Japão e América Latina. Até meados dos anos 60, sua utilização era impossível ou inviável. A inexistência de capacidade para armazenamento e processamento de dados era um fator definitivamente limitante. Com o advento dos computadores em escala comercial, surgiram as primeiras aplicações MRP, para o cálculo de necessidades de materiais, ao qual foram acopladas outras técnicas, resultando no que se denomina hoje de MRP II ([COR1996]). O MRP e o MRP II são SAP de grande porte que mais têm sido implantados pelas empresas, ao redor do mundo, desde os anos 70.

MRP II é um modelo de planejamento e controle industrial suportado por sistemas integrados de informação ([VOL1998]).

O MRP II proporciona ([VOL1998]):

- a) melhor planejamento;
- b) facilidade para replanejar;
- c) simulação de alternativas operacionais;
- d) controle das operações.

2.10.1 OBJETIVOS

O MRP II tem como principais objetivos:

- a) melhorar o nível de serviço ao cliente, qualidade e prazos;
- b) redução dos níveis de estoques de componentes e matéria prima;
- c) redução de custos:

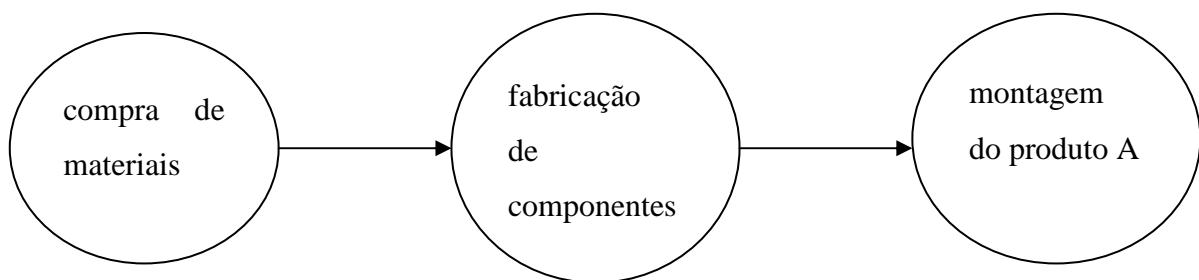
- horas extras;
 - produções de pequenos lotes;
 - emergências.
- d) facilidade de ajustes em caso de mudanças;
- e) eliminação do manuseio extra de materiais;
- f) melhoria da produtividade:
- redução de faltas e conseqüentes práticas de produção a elas associadas.

2.10.2 PRINCÍPIO BÁSICO

O princípio básico do MRP II é o princípio do cálculo de necessidades, uma técnica de gestão que permite o cálculo, viabilizado pelo uso de computador, das quantidades e dos momentos em que são necessários os recursos de manufatura (materiais, pessoas, equipamentos, etc.), para que se cumpram os programas de entrega de produtos, com um mínimo de formação de estoques ([COR1996]).

O cálculo de necessidades dos componentes é feito a partir das necessidades dos produtos finais. Suponha-se que determinado processo produtivo (que manufacture o produto hipotético A) consista em três etapas: compra de materiais, que leva dois dias, fabricação dos componentes, que leva dois dias e montagem do produto final A, que leva um dia, conforme demonstrado na figura 4 ([COR1996]).

Figura 4 - Processo produtivo do produto hipotético A



Fonte: ([COR1996])

Dado, então, um pedido de duas unidades do produto final A para o final da sexta-feira (ou para sábado), o sistema de cálculo de necessidades calcularia as necessidades de todos os recursos que concorrem para a produção do produto A, nos momentos em que são

necessários: se a montagem do produto A leva um dia, é necessário que na sexta-feira pela manhã uma quantidade suficiente de componentes para produzir as duas unidades do produto A esteja disponível para montagem. Também é necessário que haja montadores (suficientes para montar duas unidades A) disponíveis na sexta-feira para executar a montagem (a montagem leva um dia) ([COR1996]).

Prosseguindo no mesmo raciocínio, para que os componentes estejam prontos na sexta-feira pela manhã, é necessário que eles comecem a ser fabricados na quarta-feira pela manhã (a fabricação leva dois dias). Para isto, é necessário que um número suficiente (para produzir duas unidades do produto A) de operários de fabricação e suas ferramentas estejam disponíveis durante a quarta e quinta-feira e é preciso também que os materiais necessários para a produção de dois produtos A estejam comprados e disponíveis na quarta-feira pela manhã, para início da fabricação. Para isto, é necessário que as compras se dêem durante a segunda e terça-feira (as compras levam dois dias) ([COR1996]).

Este é apenas um exemplo ilustrativo do funcionamento geral da lógica do cálculo de necessidades. Sumarizando, seus principais aspectos são ([COR1996]):

- a) parte-se das necessidades de entrega dos produtos finais (quantidades e datas);
- b) calculam-se para trás, no tempo, as datas em que as etapas do processo de produção devem começar e acabar;
- c) determinam-se os recursos, e respectivas quantidades, necessários para que se execute cada etapa.

2.10.3 NOÇÕES BÁSICAS

As noções básicas do MRP II se baseia em inúmeros conceitos que serão apresentados abaixo.

CARGA FINITA: consiste em não carregar o centro de trabalho além de sua capacidade de execução. Envolve a revisão automática de prioridades da fábrica para o nível de carga, operação por operação ([VOL1998]).

CARGA INFINITA: mostra o trabalho em um centro de trabalho, ao longo do tempo, sem levar em consideração a capacidade disponível para executar a tarefa ([VOL1998]).

CENTROS DE TRABALHO: qualquer grupo de máquinas ou pessoas que executem tarefas similares, operações ou seqüência de operações que possam ser consideradas como uma unidade para os propósitos de planejamento de capacidade, custos e controle do chão de fábrica ([VOL1998]).

DEMANDA INDEPENDENTE: os itens de demanda independente são aqueles cuja demanda não depende da demanda de nenhum outro item. Típico exemplo de um item de demanda independente é um produto final. A demanda de itens com demanda independente deve ser prevista com base no mercado consumidor e não da demanda de qualquer outro item ([COR1996]).

DEMANDA DEPENDENTE: os itens de demanda dependente são aqueles cuja demanda depende de algum outro item. A demanda de um componente de um produto final, por exemplo, é dependente da demanda do produto final. Para a produção de cada unidade de produto final, uma quantidade bem definida e conhecida do componente será sempre necessária. A demanda de itens com demanda dependente não necessita ser prevista, pois pode ser calculada com base na demanda do item do qual depende ([COR1996]).

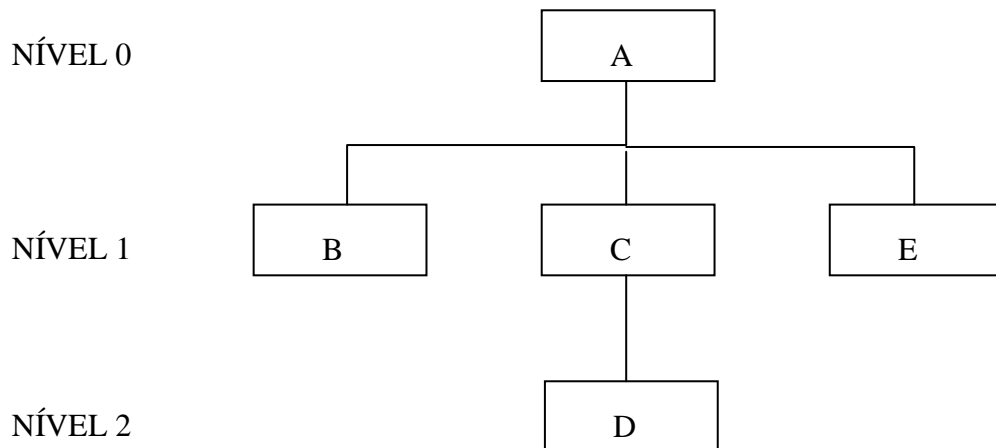
ESTOQUE: é a quantidade de estoque que se possui de um determinado material, pode ser comprado ou fabricado. E este estoque pode ser classificado em ([VOL1998]):

- a) disponível – disponível para uso ou venda;
- b) não disponível – o estoque existe, mas não pode ser usado;
- c) alocado – estoque reservado para produção ou venda.

ESTOQUE DE SEGURANÇA: o MRP II permite que se estabeleçam níveis de estoques de segurança para itens planejados. As ordens são planejadas pelo sistema de forma a completar o nível de estoque de segurança definido e não para atender à quantidade estritamente necessária ([VOL1998]).

ESTRUTURA DE PRODUTO: é uma estrutura que descreve as relações pai-filho, itens componentes de um mesmo produto final, representado pela figura 5 ([COR1996]):

Figura 5 - Estrutura de produto relação pai-filho



Fonte: ([COR1996])

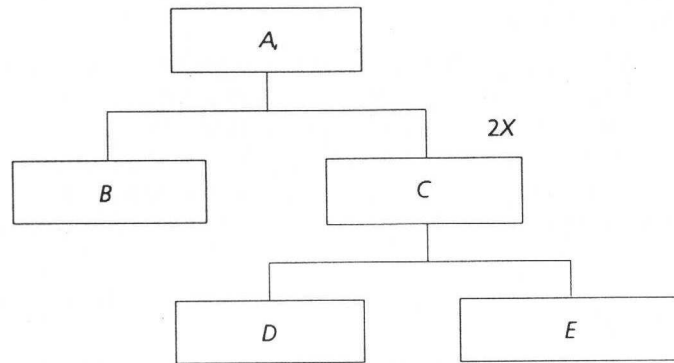
HORIZONTE DE PLANEJAMENTO: é a extensão do período futuro para o qual se planeja. Este horizonte de planejamento consiste em um número definido de períodos, que são períodos para os quais se planejam as ordens, estes períodos podem ser dias, semanas, meses e anos ([VOL1998]).

ITEM FANTASMA: item que possui uma estrutura de produto, porém não é produzido, nem estocado ou comprado. No cálculo de necessidades este item fantasma é explodido pelo MRP, porém não há geração de ordens. Este recurso é útil para facilitar o entendimento, simplificar a engenharia do produto, etc. Exemplo: Aviamento de uma toalha é composto por etiqueta, linha de costura, encarte, etc. ([VOL1998]).

ITEM-PAI/ITEM-FILHO: item-pai é um item de estoque que tem componentes. Cada um destes itens componentes é um item-filho. Se o item-filho tem itens componentes, então, ele é um item-pai destes, que por sua vez, são itens-filho ([VOL1998]).

LEAD-TIME: é o tempo necessário para o ressuprimento de um item. Se um item é comprado, o *lead-time* refere-se ao tempo decorrido desde a colocação da solicitação de compra até o recebimento do material comprado. Se se trata de item produzido ou fabricado. O *lead-time* refere-se ao tempo decorrido desde a liberação de uma ordem de produção até que o item fabricado esteja pronto e disponível para uso ([COR1996]). Analisando a seguinte estrutura de produtos conforme a figura 6:

Figura 6 - Lead-time de uma estrutura de produtos



Fonte: ([COR1996])

Suponha-se que para a estrutura acima, valham os seguintes *lead-times* conforme a tabela 1:

Tabela 1 - Lead-times para determinada estrutura de produtos

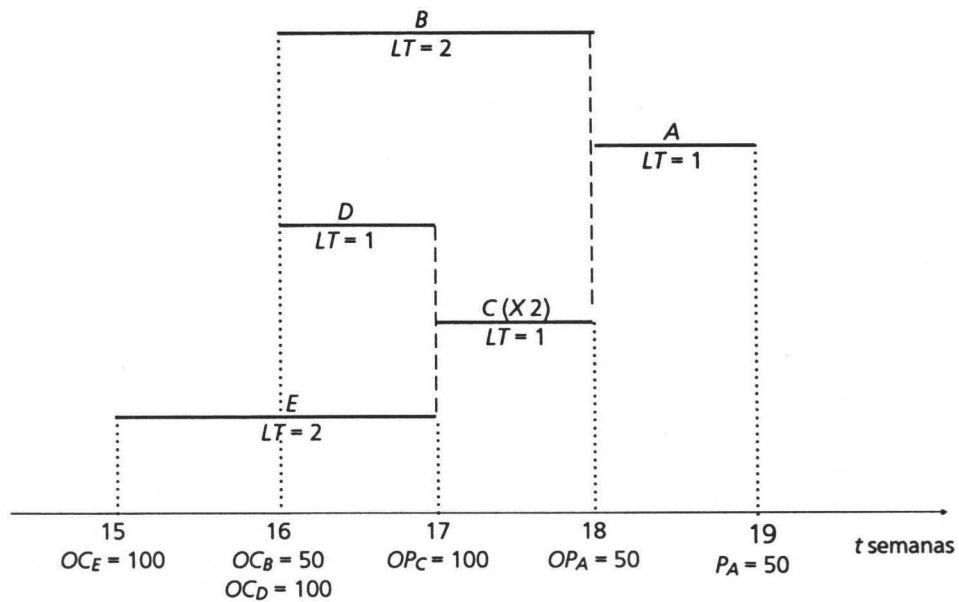
A	1 semana
B	2 semana
C	1 semana
D	1 semana
E	2 semana

Fonte: ([COR1996])

Suponha-se que um pedido de 50 unidades do produto A, a ser entregue na semana 19, esteja sendo planejado.

Na figura 7 encontra-se um exemplo de como ficaria o cálculo dos momentos em que as ordens de compra e produção deveriam ser liberadas, fazendo uso de um esquema que represente estas ocorrências no tempo:

Figura 7 - Cálculo quando ordem de compra e produção liberadas



Fonte: ([COR1996])

Partindo, então, das necessidades de entrega de produtos acabados representadas pelo pedido PA, são calculadas as necessidades brutas dos itens, nos respectivos instantes, e identificadas as quantidades e instantes em que é necessária a liberação das OC e OP para diversos itens (A, B, C, D e E) ([COR1996]).

Pode-se notar que este cálculo foi feito considerando que, em nenhum momento, a empresa tinha estoque de itens ou de produtos acabados. Isto nem sempre é verdade. As empresas, em geral, carregam estoques de itens por diversos motivos. Isto faz com que nem sempre seja necessário produzir o total das necessidades brutas e o estoque disponível do item. Para que este cálculo seja possível, é necessário que o sistema considere a posição dos estoques dos diversos itens ao longo do tempo, para que seja capaz de saber a quantidade de estoque disponível, no momento em que o específico item seja necessário. Dessa forma, o sistema poderá calcular uma necessidade líquida para o item, que será a quantidade da ordem liberada ([COR1996]).

LOTE: é uma quantidade previamente estabelecida e codificada de matéria-prima, produto intermediário e produto acabado ([VOL1998]).

TAMANHO DE LOTE: é o tamanho do lote de produção ou de compra de determinado item. O estabelecimento de tamanho de lotes envolve os custos fixos de produção (como por exemplo o custo de preparação de uma máquina) ou compra (como por exemplo o custo do pedido de compra), que ocorrem a cada vez que uma ordem é emitida e executada, independentemente do seu tamanho ([VOL1998]).

LOW LEVEL CODE: é um procedimento adotado pelo sistema para determinar qual a seqüência em que o processamento do cálculo de necessidades de materiais é executado. Alguns itens podem ser componentes em mais de um produto. Se um processamento fosse feito percorrendo as estruturas de produtos de forma hierárquica, o sistema iria replanejar o mesmo componente várias vezes. No intuito de evitar isso, este componente possui como número do nível o mais baixo que ele aparece em qualquer estrutura de produto ([VOL1998]).

CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL: é como o material é classificado. Pode ser comprado ou fabricado e se divide em ([VOL1998]):

- a) matéria-prima: destinados à produção de produtos finais ou produtos acabados;
- b) produto intermediário: são produtos que embora produzidos internamente não constituem em produto final para comercialização, mas como componentes do produto final;
- c) produto final ou acabado: são os produtos que estão prontos para serem comercializados.

NECESSIDADES BRUTAS: são as quantidades necessárias dos itens-filho (componentes) para atender a determinada quantidade de um item-pai que necessita ser produzido, desconsiderando as quantidades em estoques dos itens-filhos, ao longo de um tempo. Estes itens-filho devem estar disponíveis para a produção do item-pai ([COR1996]).

NECESSIDADES LÍQUIDAS: são as necessidades de itens-filhos (componentes) para suprir a produção de determinada quantidade de um item-pai, descontadas as posições dos estoques já existentes de itens “filhos” (e que, portanto, não necessitam ser produzidos ou comprados). Em outras palavras são as quantidades de itens “filhos” que devem ser efetivamente obtidas, via compra ou manufatura, para a produção do item-pai ([COR1996]).

$\text{Necessidades líquidas} = \text{necessidades brutas} - \text{quantidade em estoque}$
--

Suponhamos que a posição dos estoques de itens fosse o seguinte, no caso do produto hipotético A, conforme a tabela 2:

Tabela 2 - Posição dos estoques

Item	Semana	Posição do estoque
A	19	10
B	18	5
C	18	10
D	17	10
E	17	5

Fonte: ([VOL1998])

Pode-se observar como as quantidades necessárias das OP e OC alteraram-se com a consideração das posições dos estoques nos momentos em que os materiais seriam necessários (e não nos momentos das liberações das ordens). Dessa forma, ficam definidas as necessidades de materiais para que se cumpram os pedidos. Já se sabe, portanto, quais as OC e OP que devem ser colocadas, em que momentos e em quais quantidades. É importante deixar claro que até aqui os primeiros pacotes de MRP executavam perfeitamente, por isso “MRP” ser, naquela época, a sigla apenas para *material requirements planning* - planejamento das necessidades de materiais. O MRP II, além dessa lógica do cálculo de necessidades, explora também o planejamento de outros recursos de produção (como necessidades de mão-de-obra e de equipamentos), além dos materiais. Para tanto, é necessário conhecer informações adicionais, como os centros produtivos, roteiros de produção e taxas de consumo de recurso por item produzido.

POLÍTICAS DE ORDEM: são regras usadas pelo sistema MRP, durante seu processamento, para determinar como a empresa deseja executar a sua produção:

- a) discreta – a ordem é gerada a partir de uma necessidade;
- b) fixa por quantidade – as ordens são determinadas em lotes;
- c) fixa por período – as ordens são geradas por um intervalo de data (dias, semanas,

etc.).

STATUS DE ORDEM: são regras usadas pelo sistema MRP, durante seu processamento e para o usuário fazer a sua administração da produção, que são as seguintes:

- a) ordens planejadas – são sugestões de quantidades a serem produzidas ou compradas em determinada data válida, sugeridas pelo MRP;
- b) ordens liberadas - são OP ou OC (ordem de compra) que foram analisadas (firmadas) pelo programador as quais o sistema não está autorizado para alterar. As ordens liberadas são a maneira de estabelecer o programa de produção a ser efetivado;
- c) ordens abertas – são OP que já deram início da sua fabricação, ou as ordens de compra que já estão com o fornecedor;
- d) ordens entrega parcial – são OP que já estão parcialmente prontas ou OC que o fornecedor já entregou parte do material;
- e) ordens encerradas – são OP que já estão concluídas ou OC que o fornecedor já entregou totalmente o material.

UNIDADES DE MEDIDA: é como a empresa faz a estocagem de seus materiais, sejam matérias-primas, produtos intermediários, produtos acabados (por exemplo peça, metro, litro, etc.). Podem ser classificadas em:

- a) estoque – é a unidade de estocagem e de comercialização;
- b) produção - é a unidade em que o produto é produzido;
- c) compra – é a unidade do material, conforme o fornecedor vende e entrega.

FATOR DE CONVERSÃO: O fator de conversão é usado para converter quantidades de estoque que estão em unidades diferentes. Como por exemplo da unidade de compra para a unidade de estocagem, determinado material pode ser adquirido em Kg e estocado em peça, etc.

2.10.4 FUNCIONAMENTO

O MRP II é um sistema hierárquico de administração da produção, em que os planos de longo prazo de produção, agregados (que contemplam níveis globais de produção e setores

produtivos), são sucessivamente detalhados até se chegar ao nível do planejamento de componentes e máquinas específicas.

O MRP II possui cinco módulos principais [COR1996]:

- a) Módulo de Planejamento da Produção é a determinação do nível de produção e de outras atividades com o objetivo de melhor satisfazer o plano de vendas, levando em consideração os objetivos da empresa tais como: lucratividade e competitividade. Uma das principais funções é estabelecer taxas de produção que permitam atingir objetivos de reduzir, manter ou aumentar os estoques (ou carteira de pedidos), mantendo a utilização de recurso (mão-de-obra, equipamentos, etc) relativamente estáveis;
- b) Módulo de Planejamento Mestre da Produção (MPS) é o que a empresa planeja produzir, expresso em quantidades, configurações específicas e datas. A partir de informações de entrada resultantes da função de gestão da demanda da empresa, assim como previsão de vendas e pedidos em carteira, o módulo auxilia o usuário nas decisões referente ao planejamento das quantidades de itens de demanda independente (sejam produtos finais, matéria-prima ou peças de reposição) a serem produzidas e níveis de estoques a serem mantidos;
- c) Módulo de Planejamento de Necessidades de Materiais (MRP) é a partir do resultado do planejamento mestre que o MRP calcula as necessidades de produtos em necessidades de produção e compra de itens componentes, de forma a cumprir o plano mestre e, ao mesmo tempo, minimizar a formação de estoques. O sistema faz isso programando OC e OP para o momento mais tarde possível, dado que não haja comprometimento do cumprimento dos prazos de entrega das ordens;
- d) Módulo de Planejamento de Capacidade (CRP) a partir do resultado da explosão dos produtos em itens componentes e a partir de dados cadastrais sobre os centros produtivos e suas capacidades produtivas, os roteiros de produção dos itens e sobre o consumo de recursos por operação, o CRP calcula as necessidades de capacidade produtiva para cumprir o plano de materiais. Comparando a necessidade de capacidade ao longo do tempo, por centro produtivo, com as capacidades máximas destes centros produtivos, o CRP pode identificar possíveis inviabilidades do plano de materiais submetido, assim como as futuras ocorrências de ociosidades excessivas de recursos, sinalizando assim para que se proceda ao ajuste do plano de

materiais e, possivelmente, até do plano mestre para que se chegue à viabilidade;

e) Módulo de Controle de Fábrica (SFC) é o responsável pela seqüenciação dos produtos fabricados (ordens) por centro de produção, dentro de um período de planejamento e pelo controle da produção, no nível da fábrica. No MRP II, este módulo, que busca garantir o que foi planejado, será executado da forma mais fiel possível aos planos.

2.10.5 VANTAGENS

Uma das principais vantagens do MRP II é sua natureza dinâmica. É um sistema que reage às mudanças. Esta é uma condição que se torna mais importante a cada dia, num ambiente competitivo ([COR1996]).

MRP II é um sistema de informações integrado, que põe em disponibilidade para um grande número de usuários grande quantidade de informações. Esta troca de informações, se bem aproveitada, pode trazer inúmeros benefícios para a empresa que o adote ([COR1996]).

2.10.6 LIMITAÇÕES

O MRP II baseia-se num pacote de computador grande, complexo, muitas vezes caro, que, em geral, não é fácil de alterar no sentido de adaptá-lo às necessidades da empresa usuária. Estas alterações, ainda que possíveis, demandam bastante esforço e despesas por parte do usuário. Muitas vezes as empresas que optam por adotar MRP II se vêem obrigadas a se adaptar à ferramenta ao invés do contrário, o que nem sempre é recomendável. Alguns críticos mais céticos argumentam que, para se implantar MRP II com sucesso, é necessário um esforço, a empresa estaria organizada a ponto de prescindir do próprio sistema ([COR1996]).

Um ambiente que utilize MRP II é um ambiente altamente “computadorizado”. Isto significa que, embora uma quantidade muito grande de dados esteja disponível, estes dados também devem ser informados ao sistema de forma sistemática (MRP II não tolera controles “paralelos”) e exata, já que o sistema depende visceralmente deles para seus procedimentos. Isto demanda que os envolvidos com o uso do sistema sejam bastante disciplinados em seus procedimentos de entrada de dados. Isto nem sempre é fácil de obter e representa alterações na forma de trabalho das pessoas, que tendem a ser mais informais ([COR1996]).

O MRP II é um sistema “passivo”, no sentido de que aceita sem questionar seus parâmetros, como tempos de preparação de máquina (incluídos no tempo de ressuprimento) níveis de estoques de segurança, níveis de refugos, entre outros, não incluindo nenhuma sistemática de questionamento e melhoria destes parâmetros. O MRP II automatiza muito e melhora pouco, como dizem alguns de seus críticos mais ácidos. O MRP II, por ser passivo e centralizado, também não parece favorecer ao engajamento dos operários na melhoria do sistema produtivo, já que o MRP II assume as responsabilidades por grande parte das decisões deixando os operários na função de “cumpridores” do plano ([COR1996]).

O MRP II privilegia os critérios de cumprimento de prazo e redução de estoques, muitas vezes à custa de outros critérios. O desempenho estratégico dos sistema (o quanto o sistema ajuda a empresa a atingir seus objetivos estratégicos) vai ser influenciado pelo fato de a empresa necessitar ou não de alto desempenho nos critérios que o MRP II privilegia ([COR1996]).

2.10.7 RESULTADOS ESPERADOS

O MRP II espera obter os seguintes resultados ([VOL1998]):

- a) disponibilidade de material quando necessário;
- b) possibilidade de Simulação e Replanejamento;
- c) aumento da produtividade;
- d) informações rápidas e precisas;
- e) controles eficientes.

2.11 OPT

O *Optimized Production Technology* – Tecnologia de Produção Otimizada (OPT) é um sistema de administração da produção relativamente novo. Essa técnica de gestão de produção foi desenvolvida por um grupo de pesquisadores israelences. Apesar de o nome pelo qual a técnica ficou conhecida sugerir que se trate de um método otimizante, o OPT não é uma técnica otimizante no sentido científico do termo. Nada garante que, por sua aplicação, se atinjam soluções ótimas, já que a técnica é baseada em uma série de procedimentos

heurísticos, muitos dos quais os proprietários dos direitos de exploração do sistema nem mesmo tornaram públicos até o momento ([COR1996]).

O OPT, ao contrário do MRP II, não é uma técnica que já tenha caído no domínio público e, qualquer empresa que se decida por adotá-la deverá fazê-lo através das empresas (uma nos Estados Unidos e uma na Inglaterra) que detêm os direitos de comercializá-la ([COR1996]).

O OPT é um sistema de administração da produção que se compõe de pelo menos dois elementos fundamentais: sua “filosofia” (composta de nove princípios) e um “software” (proprietário) [COR1996].

[RUS1995] destaca que o OPT trata-se de um sistema de controle da produção baseado em procedimentos de carga finita concentrado nos chamados “recursos-gargalos” e pode também ser considerado como um exemplo da separação entre os escassos vitais dos abundantes triviais.

2.11.1 OBJETIVOS

A abordagem OPT advoga que o objetivo básico das empresas é “ganhar dinheiro”, mas para que isso aconteça, é necessário que a empresa tenha como principais objetivos a nível da fábrica ([COR1996]):

- a) aumentar o fluxo de produtos vendidos - taxa segundo a qual o sistema gera dinheiro através da venda de seus produtos.
- b) reduzir os estoques – quantificado pelo dinheiro que a empresa empregou nos bens que pretende vender;
- c) reduzir despesas operacionais – o dinheiro que o sistema gasta para transformar estoque em fluxo.

2.11.2 PRINCÍPIO BÁSICO

A filosofia OPT baseia-se no princípio de que, nos sistemas produtivos, há dois tipos de recursos diferentes, em termos de sua importância para o desempenho do sistema: os gargalos e os não-gargalos. Os gargalos, segundo o OPT, são os recursos que limitam a capacidade produtiva do sistema produtivo como um todo e como tal deveriam ser tratados de

forma especial. As decisões em relação a todos os outros recursos do sistema deveriam estar submetidas às decisões tomadas em relação aos recursos-gargalos ([COR1996]).

2.11.3 ASPECTOS FILOSÓFICOS

Existem vários aspectos filosóficos no OPT. Embora, de certa forma, muitos deles tenham sido apresentados em outras tecnologias, o OPT os conduz a nível operacional. O resultado é uma série de práticas de fabricação que são às vezes contraditórias, e portanto difíceis de implementar sem a aceitação da filosofia do OPT ([RUS1995]).

Esses aspectos filosóficos são indispensáveis para se conseguir os benefícios do OPT. Para isso é fundamental o estabelecimento de treinamento em toda a empresa, de mudança nos costumes para muitas outras, e sempre de compromisso da alta administração com os conceitos básicos, a filosofia e as ações necessárias resultantes ([RUS1995]).

É necessário algumas noções básicas do OPT os quais se baseiam em inúmeros conceitos demonstrados a seguir:

2.11.3.1 ÁREAS DO OPT

O OPT está dividido em quatro áreas ([COR1996]):

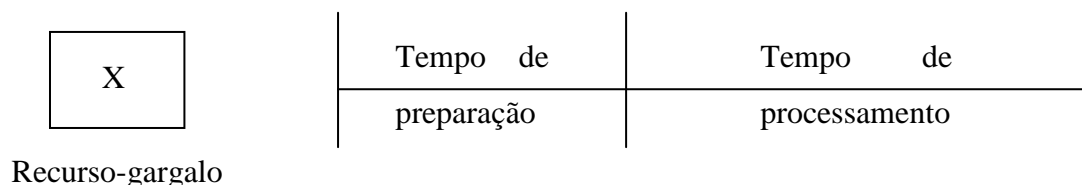
- a) tipos de recursos – existe o recurso gargalo que fica ocupado durante todo o tempo de sua disponibilidade e o recurso não-gargalo que não fica ocupado durante todo o tempo (possui folga);
- b) preparação de máquina – é o tempo gasto (tempo parado) que se leva para a limpeza e a troca de um produto na máquina;
- c) tamanho de lotes – é uma quantidade limitada que é produzida de um produto;
- d) os efeitos das incertezas – são os eventos incertos, os que não podem ser previstos como quebra de equipamento, falta de consistência do operador, etc. por mais que se possa controlar boa parte destes eventos incertos, via treinamento do operador, uniformização de métodos de trabalho, automação de tarefas, entre outros, é impossível eliminá-los completamente.

2.11.3.2 PRINCÍPIOS OPT

O OPT possui nove princípios ([COR1996]):

- a) balancear o fluxo e não a capacidade – isto será possível identificando-se os gargalos no sistema, que são os recursos que vão limitar o fluxo do sistema como um todo;
- b) a utilização de um recurso não-gargalo não é determinada por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição dos sistema, por exemplo um gargalo, ou até mesmo a própria demanda do mercado;
- c) utilização e ativação de um recurso não são sinônimos – ativar um recurso não-gargalo mais do que o suficiente para alimentar um recurso-gargalo limitante não contribui em nada com os objetivos definidos pelo OPT. Ao contrário, o fluxo se manteria constante, ainda limitado pelo recurso-gargalo, e ao mesmo tempo, o estoque se estaria elevando e também as despesas operacionais, com a administração deste estoque gerado. Como a ativação do recurso, neste caso, não implica contribuição ao atingimento dos objetivos, esta não pode ser chamada de “utilização” do recurso – é apenas sua “ativação”;
- d) uma hora ganha num recurso-gargalo é uma hora ganha para o sistema global, ou seja, se uma hora do tempo de preparação é economizada, uma hora é ganha no tempo de processamento, isto significa que o recurso-gargalo ganha disponibilidade para processar material. Esta hora ganha atinge a todo o sistema produtivo, já que é o recurso gargalo que limita à capacidade de fluxo do sistema global. O OPT busca manter os lotes de produção tão grandes quanto possível nos recursos-gargalo, para minimizar o tempo gasto com a preparação destes recursos e, portanto, aumentar a capacidade de fluxo. observe a figura 8:

Figura 8 - Constituição dos tempos de preparação/processamento



Fonte: ([COR1996])

- e) uma hora ganha num recurso não-gargalo não é nada, é só uma miragem – não há

benefícios tão evidentes da redução dos tempos de preparação. De fato, haveria até a conveniência de se usar parte do tempo ocioso para fazer maior número de preparações, pois, dessa forma, os tamanhos de lote seriam menores. Embora estes lotes menores não ajudassem a aumentar o fluxo, ajudariam a diminuir o estoque em processo e as despesas operacionais, tornando o fluxo de produção mais suave. A figura 9 mostra os tempos de preparação, mais o tempo de processamento, mais o tempo ocioso:

Figura 9 - Constituição dos tempos de preparação/processamento/ocioso

Y	Tempo de	Tempo de	Tempo
	preparação	processamento	ocioso

Recurso não-gargalo

Fonte: ([COR1996])

- f) lote de transferência pode não ser e, freqüentemente, não deveria ser, igual ao lote de processamento – o lote de transferência é sempre uma fração do lote de processamento. O lote de processamento é aquele tamanho de lote que vai ser processado num recurso antes que este seja reparado para processamento de outro item. Já o lote de transferência é a definição do tamanho dos lotes que vão ser transferidos para as próximas operações. Como no OPT estes lotes não têm que ser iguais, quantidades de material processado podem ser transferidas para uma operação subsequente mesmo antes que todo o material do lote de processamento esteja processado. Isto permite que os lotes sejam divididos, podendo reduzir o tempo de passagem dos produtos pela fábrica;
- g) o lote de processamento deve ser variável e não fixo – o tamanho dos lotes de processamento é uma função da situação da fábrica e pode variar de operação para operação. Estes tamanhos de lote são estabelecidos pela sistemática de cálculo do OPT, que leva em conta os custos de carregar estoques, os custos de preparação, as necessidades de fluxo de determinados itens, os tipos de recurso (gargalo ou não-gargalo), entre outros;
- h) os gargalos não só determinam o fluxo do sistema todo, mas também definem seus estoques – estes estoques são dimensionados e localizados em pontos tais que consigam isolar os gargalos de flutuações estatísticas propagadas por recursos não-

gargalos que os alimentam. Cria-se, por exemplo um estoque antes da máquina-gargalo de modo que qualquer atraso (seja causado pela flutuação estatística ou por eventos aleatórios) não repercuta em parada do gargalo por falta de material. Isto é feito criando-se um *time buffer* antes do recurso-gargalo. Em outras palavras, programam-se os materiais para chegarem ao recurso-gargalo determinado tempo (de segurança) antes do instante em que o recurso-gargalo está programado para começar sua operação. Dessa forma, se qualquer atraso ocorre com os recursos que alimentam o recurso-gargalo, este pode ser absorvido por este tempo de segurança;

- i) a programação de atividades e a capacidade produtiva devem ser consideradas simultaneamente e não seqüencialmente. *Lead-times* são um resultado da programação e não podem ser assumidos *a priori* – o sistema MRP necessita dos *lead-times* como um dado de entrada do processo de planejamento. Partindo da data de entrega prometida, o MRP vai subtraindo os *lead-times*, o sistema, então, vai checar se há no sistema produtivo capacidade produtiva suficiente para cumprir o programa. No MRP a programação e a capacidade são consideradas seqüencialmente e não simultaneamente. O OPT, ao contrário, considera que os tempos de fila são dependentes de como a programação é feita. De fato, se determinada OP ganha prioridade por qualquer motivo numa fila aguardando por determinada operação, esta OP vai ficar um tempo menor na fila. Como o tempo de fila é um dos principais componentes dos *lead-times* dos itens, fica evidente que os *lead-times* vão ser diferentes, conforme a forma com que se dá a seqüenciação das OP. Ora, se os *lead-times* são um resultado do processo de programação, não poderiam ser utilizados como um dado de entrada do processo de programação (que é o que faz o MRP). O OPT, portanto, aborda o problema de forma diferente, considerando de forma simultânea a programação de atividades e a capacidade dos recursos-gargalos. Considerando as limitações de capacidade dos recursos-gargalos, o sistema OPT, então, decide por prioridades na ocupação destes recursos e, com base na seqüência definida, pode calcular, como resultado, os *lead-times* e, portanto, pode programar melhor a produção. Enfim, os defensores do OPT argumentam que esta característica faz com que os programas gerados pelo OPT sejam mais realísticos que os programas gerados pelo MRP.

2.11.4 FUNCIONAMENTO

O OPT é um sistema de administração da produção, que combina duas lógicas de programação, finita para frente e infinita para trás, respectivamente, para programar recursos-gargalos e não-gargalos, através do conceito de sincronização (*Drum-buffer-rope*), relatado na seqüência ([COR1996]).

Num ambiente de manufatura, há uma série de restrições a serem consideradas: restrições de mercado, restrições quanto aos fornecimentos, restrições dadas pela política da empresa e restrições de capacidade do processo produtivo.

Pode não haver gargalos reais, mas sempre haverá recursos restritivos críticos (RRC). RRC, como os gargalos, controlam fluxo e devem estar sincronizadas aos outros recursos de uma forma a poder controlar os estoques.

A diferença entre gargalo e RRC é simples. Em algumas situações, pode não haver gargalos reais numa fábrica, porque todos os centros produtivos estão superdimensionados em relação à demanda, mas sempre haverá algum recurso que restrinja a produção, por exemplo, a montagem final que responde à demanda de mercado (no caso de a demanda ser o limitante). Este, então, será o RRC, apesar de não ser um gargalo real. Pode também haver o caso em que, pela definição, vários recursos sejam gargalos (vários recursos têm capacidade menor do que a demandada pelo mercado). Neste caso, o RRC será aquele que limitará a capacidade produtiva de todo o sistema.

Se um roteiro simples composto de nove recursos é considerado e se descobre que o ponto seis é o RRC, os sistema OPT começará a programação naquele ponto. Este é o ponto em que é necessário “bater o tambor”, que é a analogia usada pelos mentores do OPT para simbolizar que é aquele o ponto que deve ditar o ritmo de todo o sistema produtivo.

Em primeiro lugar, o OPT carrega o RRC de acordo como o total da demanda de trabalho a ser nele processado, para atingir máximo fluxo. Simultaneamente, estabelece-se a melhor seqüência para os trabalhos, decidindo as prioridades entre as atividades, levando em conta as datas dos pedidos. Em segundo lugar, o RRC deve ser protegido contra as possíveis incertezas que podem por em risco a chegada dos materiais para o cumprimento da seqüência de trabalho que o RRC vai executar. Se é constatado que um evento incerto, com probabilidade

considerável de ocorrer com o fornecimento de material para o RRC, é a quebra da máquina fornecedora, com tempo esperado de conserto de dois dias, é necessário planejar a chegada dos materiais vindos da máquina fornecedora ao RRC pelo menos dois dias antes da data em que o RRC está programado para processá-los.

Este estoque pode ser chamado de “estoque por tempo de segurança” (*time buffer*), pois os materiais que passam por este estoque vão estar sempre mudando, mas, no caso terão valor de no mínimo dois dias. Em terceiro lugar, é necessário usar o RRC para programar e controlar a utilização dos recursos não-gargalos.

Os recursos não-gargalos, que vêm no roteiro de produção, depois do recurso-gargalo, são controlados diretamente pelos RRC, já que eles só podem processar o que foi liberado pelos RRC e na seqüência em que o RRC os liberar. Além disso, por definição os recursos não-gargalos têm folga no programa, ou seja, têm maior capacidade produtiva do que é demandado. Portanto, não deverão ter problemas em processar o material vindo dos gargalos.

Os RRC controlam, também, os estoques ao longo do processo produtivo. Isto é obtido “amarrando-se uma corda” inelástica que liga o estoque criado pelo “tempo de segurança” à operação inicial do sistema produtivo. Dessa forma, a primeira operação só é programada, ou, em outras palavras, matérias-primas só são admitidas no sistema para começarem a ser processadas, sincronizadamente, de acordo com as necessidades futuras (nas quantidades precisas e no momento certo) de chegada de material nos estoques protetores dos RRC.

Dessa forma, os estoques não poderão subir a níveis mais altos do que aqueles predeterminados, levando em conta as possíveis incertezas às quais os recursos não gargalos anteriores ao RRC podem estar sujeitos.

A sincronização descrita acima é denominada na literatura sobre OPT, *drum-buffer-ropes*, numa referência ao trio de elementos que são chaves para o método: “tambor-estoque protetor-corda”. O tambor que representa o RRC, dita o ritmo e o volume da produção do sistema. O estoque protetor, definido como um “estoque por tempo de segurança” antes do RRC e sincronizado com este, garante que o RRC não pare por falta de material. Finalmente,

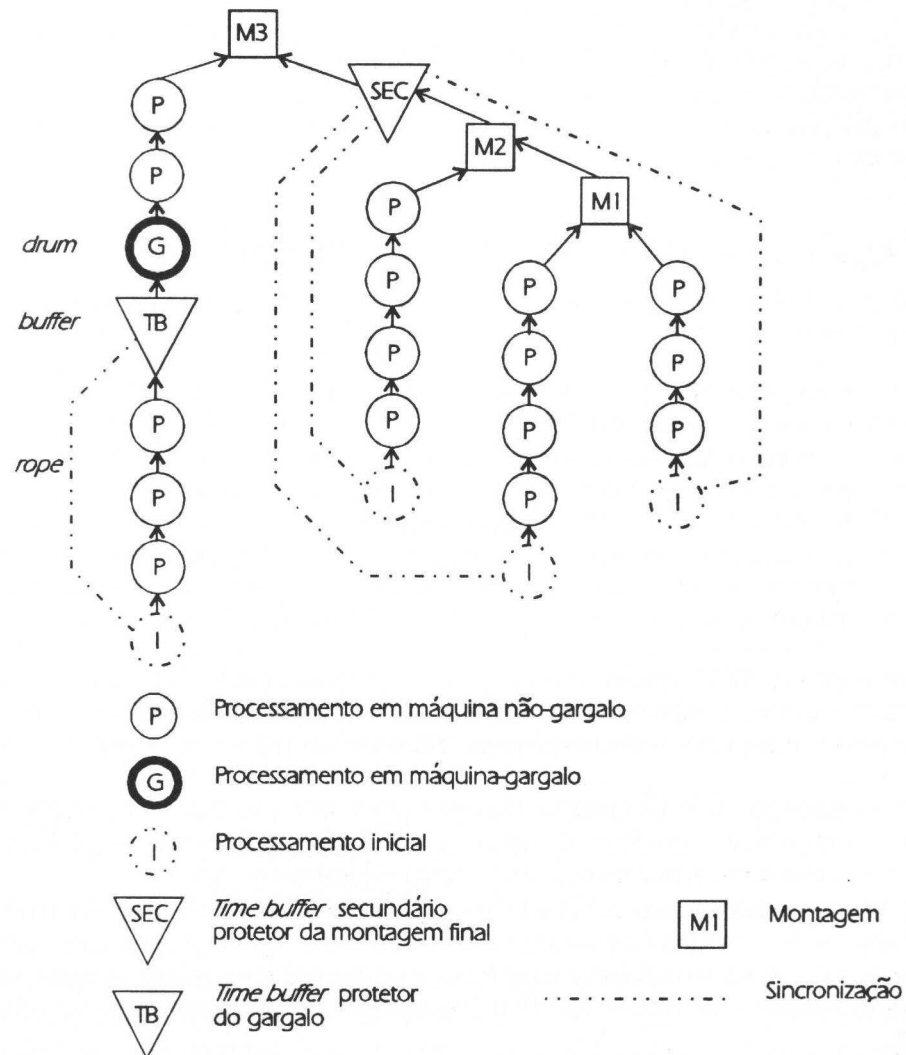
a “corda”, que representa a sincronização entre a necessidade de chegada de materiais no estoque protetor e admissão de matérias-primas no sistema.

O OPT procura colocar a idéia do *drum-buffer-rope* em prática através de dois módulos ([COR1996]):

- a) módulo OPT – que programa os recursos RRC, com uma lógica de programação finita para frente, que leva em conta:
 - as datas de entrega dos pedidos;
 - a conveniência de se reduzir a quantidade de preparações de máquina;
 - casos em que um RRC alimenta outro;
 - a situação de ordens da fábrica;
 - os *time buffers* secundários.
- b) módulo SERVE – que programa os recursos não RRC. Este trabalha com uma lógica de programação infinita, para trás, aos moldes do MRP II. O ponto de partida desta programação para trás é dado pela definição das necessidades (datas e quantidades) de chegada dos materiais nos *time-buffers*. Estas datas e quantidades, por sua vez, estão amarradas com a programação dos recursos RRC, definida pelo módulo OPT.

Considere uma fábrica que tem uma operação final de montagem. Considere também que o RRC desta fábrica se encontra num dos ramos que alimentam esta montagem. A figura 10 mostra a lógica do *drum-buffer-rope* no OPT:

Figura 10 - Lógica do drum-buffer-rope no OPT



Fonte: ([COR1996])

Dessa forma, OPT combina duas lógicas de programação, finita para a frente (*forward scheduling*) e infinita para trás (*backward scheduling*), respectivamente., para programar recursos-gargalos e não-gargalos.

2.11.5 VANTAGENS

OPT parece ter uma vocação especial para auxiliar as empresas na redução de seus *lead-times* e estoques. É um sistema que facilita a flexibilidade do sistema produtivo em

alterar seu *mix* de produção, já que variações de *mix* podem ser avaliadas pela característica do OPT de trabalhar como simulador da passagem das ordens na fábrica ([COR1996]).

OPT auxilia as empresas a focalizarem suas atenções em seus problemas. Como o OPT considera os recursos-gargalo como merecedores de especial atenção e como os gargalos em geral são poucos, as empresas são incentivadas a não dispersar esforços e sim concentrá-los na resolução de problemas que possam comprometer o desempenho destes recursos-gargalo ([COR1996]).

O OPT pode ser usado como um simulador na fábrica. Na verdade, o OPT trabalha com a lógica de um simulador. Perguntas do tipo “o que aconteceria se ...” podem ser respondidas com mais segurança com o auxílio de uma ferramenta de simulação ([COR1996]).

O OPT restringe a necessidade de dados com alto nível de acuidade, já que apenas os recursos-gargalo demandam os dados precisos ([COR1996]).

2.11.6 LIMITAÇÕES

O OPT é um sistema computadorizado que, com tal, centraliza a tomada de decisões. Resta pouca área de manobra para os operadores. Isto pode não favorecer um maior comprometimento da força de trabalho com os objetivos da empresa ([COR1996]).

OPT utiliza um software “proprietário” e não barato. Isto significa que a empresa que o adota estará concordando em se tornar de certa forma dependente de um fornecedor ([COR1996]).

A filosofia OPT depende basicamente da identificação dos recursos-gargalo. Isto nem sempre é fácil de se fazer, já que muitos fatores podem contribuir para mascarar gargalos verdadeiros, como lotes excessivos, práticas tradicionais na produção, entre outros. Se o gargalo for erradamente identificado, o desempenho do sistema fica comprometido ([COR1996]).

O OPT é um sistema que demanda certo nível de habilidade analítica do programador, o que exige extensivo treinamento e entendimento perfeito dos princípios envolvidos ([COR1996]).

O OPT requer que se mudem alguns pressupostos que, por muitos anos, se cristalizaram na maioria das fábricas ocidentais. Isto pode levantar resistências à sua adoção por parte de pessoas mais resistentes à mudança. Um ponto que pode levantar polêmica são as novas medidas de desempenho propostas: o esforço no sentido de melhorar o desempenho do sistema nas novas medidas pode fazer com que o desempenho em medidas operacionais tradicionais (como o índice de ocupação de equipamentos) seja prejudicado ([COR1996]).

2.11.7 RESULTADOS ESPERADOS

O OPT espera obter os seguintes resultados [COR1996]:

- a) otimização do processo produtivo;
- b) redução da quantidade de preparações de máquina;
- c) aumento da produtividade;
- d) informações rápidas e precisas;
- e) melhoria do nível de serviço ao cliente, qualidade e prazo.

2.12 CONSIDERAÇÕES FINAIS PARA ESCOLHA E APLICABILIDADE DOS SISTEMAS DE PCP

A escolha pelas organizações por um dos sistemas de PCP (ou por uma combinação deles) constitui-se em uma importante decisão, que deve estar de acordo com as necessidades estratégicas da organização. É importante que a empresa tenha uma visão muito clara do negócio em que está envolvida e qual é o seu foco de atuação, pois existe uma grande variedade de objetivos e políticas de marketing. Estas variedades refletem as diferenças entre os vários segmentos de mercado, que podem incluir: diferentes necessidades quanto aos tipos de produtos; variedade da linha de produtos; tamanho dos pedidos dos clientes; frequência de mudanças no projeto do produto; e introdução de novos produtos.

Os diferentes segmentos de mercado vão demandar diferentes níveis de desempenho nos diferentes critérios competitivos, que são influenciados pelo sistema de manufatura; o que evidencia a importância da escolha do sistema de produção para a estratégia da empresa. [COR1996] observam que: "... a escolha do SAP, do tipo de tecnologia do processo produtivo

e dos recursos humanos que a empresa decidiu usar para competir, deve ser coerente com a estratégia global da organização e coerente uma em relação à outra.”

Segundo [COR1996] existem algumas variáveis que devem servir de referência ao se escolher um sistema de PCP. Estas variáveis são: variedade de produtos; complexidade dos roteiros; introdução de novos produtos; complexidade das estruturas; variabilidade dos *lead-times*; nível de controle; centralização na tomada de decisões; favorecimento de melhoria contínua e simplicidade do sistema. Deve-se observar que qualquer análise em termos de adequação ou não de um sistema de PCP a um determinado sistema produtivo não deve ser feita de forma isolada ou parcial, mas sim analisado em conjunto dentro do contexto da organização.

[GEL1985] sugere então que um sistema ideal seria aquele que mesclasse os três da seguinte forma:

- a) o OPT poderia ser utilizado para providenciar um realista programa mestre da produção, o que não é possível com o MRP II;
- b) o MRP II poderia ser utilizado para gerar as necessidades de materiais no horizonte de planejamento;
- c) o JIT poderia ser utilizado para controlar o “chão-de-fábrica” dos itens repetitivos.

[BOS1988] sugere sistemas híbridos entre o MRP II e o JIT, onde o MRP II seria utilizado para planejar a produção e o JIT executaria as atividades de controle da produção.

[BER1991] também sugere a utilização conjunta do MRP II com o JIT, pois ambos fornecem um gerenciamento mais eficaz do sistema de manufatura, onde o primeiro executaria um planejamento de todos os recursos da produção e o segundo agiria como um método para alcançar-se a excelência na manufatura através da eliminação contínua dos desperdícios e da redução do *lead-time*.

Já [SPE1986] sugere a adoção de alguns elementos básicos do OPT/Teoria das Restrições como uma maneira para se aumentar o desempenho do MRP II e diminuir seus problemas com as questões referentes à capacidade.

Todas as considerações acerca das vantagens e desvantagens da utilização, conjunta ou não, de alguns sistemas de PCP deve ser considerada, no entanto, o mais importante é a

adequação desses sistemas com fatores como: a estrutura organizacional da empresa; estratégia adotada pela empresa para conquistar o mercado a que ela pertence; fatores infra estruturais e características dos produtos produzidos pela empresa ([RAM1998]).

A escolha de um determinado sistema de produção, não garante por si só, o sucesso competitivo de uma organização. Entretanto, é condição necessária para se garantir este sucesso. É necessário, então, que se conheçam todas as implicações estratégicas de suas decisões referentes ao tipo de sistema de produção e o seu modo de operação ([RAM1998]).

3 ESCALONADOR

3.1 INTRODUÇÃO

A otimização dos processos operacionais tem se revelado um fator crítico de sucesso para as organizações, viabilizando a obtenção de ganhos de produtividade, a melhoria dos níveis de serviço e atendimento a seus clientes, assim como a contínua redução dos custos operacionais.

A alocação ótima dos recursos produtivos, considerando-se as restrições monetárias, físicas e operacionais impostas pelas estruturas e processos produtivos e por um mercado globalizado e cada vez mais competitivo, representa uma constante preocupação para as organizações, quaisquer que sejam as suas áreas de atuação. Em diversas atividades de negócio, tais como a programação da alocação de pessoas, programação de OP, seqüência de atividades de manutenção, planejamento de missões de satélites ou configuração de centrais de telecomunicação, defronta-se sempre com o problema clássico de otimização: **Como utilizar recursos críticos da melhor forma possível?**

Fazer as escolhas certas, redirecionar recursos para adaptar-se a problemas de suprimento, assim como rearranjar as seqüências de atividades pode proporcionar aumentos de produtividade, diminuição de custos, redução de perdas, otimização do ciclo operacional e agilização das entregas. Cada decisão tomada pode fazer a diferença entre o lucro e o prejuízo dentro desse universo de domínios tais como: programação, configuração, planejamento, roteamento, alocação de recursos com capacidade finita ou qualquer problema que necessite fazer uma pesquisa para encontrar a solução ótima dentre uma grande variedade de possibilidades ([RAM1998]).

3.2 ESCALONAMENTO DE OP

Na sua forma geral, pode se estabelecer que o problema da programação da produção envolve um conjunto de OP a ser processado, onde cada OP compreende um conjunto de operações a ser executado. As operações requerem máquinas e recursos humanos e materiais e devem ser executadas de acordo com alguma seqüência tecnológica viável. Os programas são severamente influenciados por uma série de fatores tais como prioridade da OP, prazos de

entrega, restrições de custos, níveis de produção, restrições quanto aos tamanhos dos lotes, disponibilidade e capacidade de máquinas, precedências de operações, requerimentos de recursos e disponibilidade de recursos. O programa gerado seleciona uma seqüência adequada de operações - o roteamento do processo de produção - a qual resultará na conclusão de todas as OP do conjunto, no menor tempo possível ([JUN1999]).

Para [RAM1998], escalonar OP significa planejar e controlar a produção sob a ótica do ótimo aproveitamento dos recursos. Significa agilidade, habilidade de produzir produtos acompanhando as variações da demanda que o mercado requerer, e que é preciso responder a novas solicitações de clientes muito rapidamente. Encurtar o ciclo de fabricação passa a ser um ingrediente chave para a agilidade, e o escalonamento se encaixa de forma exata pois está baseado a otimizar o uso de recursos para a obtenção de flexibilidade lucrativa. Segundo [RAM1998], a redução do ciclo de fabricação converte-se em elemento chave para alcançar a flexibilidade da empresa, é aqui que a manufatura sincronizada oferece seus benefícios pois tem o objetivo de ativar otimamente os recursos com o objetivo de brindar flexibilidade e maiores resultados econômicos à companhia. Em outras palavras, o escalonador garante que as pessoas certas tenham as informações necessárias para alocar máquinas, ferramentas e materiais para as tarefas de maior prioridade todo tempo. O conceito de otimização da programação está embutido no escalonador para fornecer informações não apenas para os operadores do piso, mas também aos planejadores, líderes de equipe e à área comercial. O escalonador orienta o piso industrial, com a melhor seqüência de tarefas, priorizada com a demanda do momento.

[RAM1998] enfatiza que um escalonador perfeito para uma organização é a coordenação exata de todos os recursos produtivos necessários para satisfazer a demanda do mercado. Não apenas as atividades da fábrica precisam estar sincronizadas à demanda do mercado, também os recursos tem que estar sincronizados entre si. Este é o ponto crucial do método matemático de programação, otimizar o uso de todos os recursos, ferramentas, materiais, mão de obra e máquinas para maximizar o volume de produção faturável.

Um escalonador calcula os recursos e processos, determinando para cada OP a melhor maneira de empregar os operários, as máquinas, as ferramentas e os materiais. O programa gerado assegura que cada OP finalize da melhor maneira e com uma otimização global que considere os prazos e demais necessidades dos clientes, minimizando os tempos de

preparação, de espera e de reabastecimento de materiais entre os centros de trabalho ([RAM1998]).

3.3 RESULTADOS

Como primeiro grande resultado na utilização de um escalonador adequado, sendo este explorado de forma correta, com certeza é a redução nos ciclos de fabricação, o que na verdade significa um maior aproveitamento do capital investido em equipamento e em pessoal ([RAM1998]).

Segundo [RAM1998], a exploração correta de um escalonador poderá resultar em números, nos seguintes dados:

- a) redução do ciclo de fabricação em até 85%;
- b) redução dos estoques de produtos em processo, de 25 a 50% ou mais;
- c) redução entre 80 e 90% do estoque de produtos acabados;
- d) altas melhorias no nível de satisfação dos clientes;
- e) aumentos significativos no desempenho e níveis de qualidade dos operários;
- f) melhoria dramática do cumprimento de prazos de entrega, com resultados de até 100% de confiabilidade.

É pré-requisito que para uma organização chegar nesses números, todas as variáveis envolvidas precisam estar perfeitamente sincronizadas.

3.4 CONSEQÜÊNCIA

O aproveitamento do fluxo produtivo será maximizado e os produtos serão acabados de acordo com os pedidos ao estoque, de modo que aumente o serviço direcionado ao cliente. Para que isso ocorra da melhor maneira possível, o ciclo produtivo deve ser minimizado e as operações sincronizadas entre si. Se o ciclo de fabricação for reduzido significativamente através da sincronização dos processos e as operações surgirem por um pedido recebido ou pela reposição dos níveis de estoque previamente estabelecidos, a probabilidade de excesso de estoques será muito menor ([RAM1998]).

3.5 OBSERVAÇÕES

Uma organização que adota o uso de uma técnica de escalonamento de suas OP precisa ([RAM1998]):

- a) explorar o potencial da empresa, conscientes de que não é um esforço a ser feito uma única vez, e sim um processo que deve ser contínuo;
- b) reconhecer que incorporar a tecnologia a uma organização deve ser uma tarefa sem fim;
- c) reconhecer o potencial das mudanças e novos processos que permitirão conseguir uma vantagem crescente sobre seus competidores.

Um dos erros fundamentais que cometem um grande número de companhias a analisar qualquer tecnologia de informação (não apenas um escalonador), é vê-la pela ótica dos processos atuais. Com um escalonador pode-se visualizar o processo por caminhos que não são familiares, sem arriscar-se demasiadamente e depender da sorte, pois [RAM1998]:

- a) redimensiona radicalmente os processos do negócio, obtendo resultados dramáticos nas medidas de desempenho ou fatores de competitividade, tais como: custo, qualidade, disponibilidade e flexibilidade;
- b) observa o processo, não seus componentes;
- c) busca ceder a execução da ação aos seus responsáveis, incluindo a tomada de decisões;
- d) baseia-se no fato de que o mercado é dinâmico, portanto imprevisível, que obriga a tomar decisões de mudanças após a ocorrência de imprevistos;
- e) vê o cliente de forma individual, não massivamente;
- f) evita atividades que não agregam valor ao processo.

Uma grande vantagem no uso de um escalonador é poder provar sem que seja necessário perder. Para tanto é utilizada uma forma criativa de tecnologia de informação para melhorar os processos, não para automatizar as tarefas atuais, sempre buscando assegurar que serão destacados os melhores recursos disponíveis às tarefas necessárias, nos momentos mais adequados ([RAM1998]).

3.6 VISÃO LÓGICA DO USUÁRIO

A intenção é dar uma idéia do que exatamente um escalonador deve se propor a fazer, trabalho este que pode se tornar em algo extremamente complexo a ser executado por um analista de PCP por exemplo a fim de verificar qual é a seqüência de OP preferenciais que gerem um plano ótimo.

Tomando como exemplo uma simples situação (em um ambiente levando em consideração um escalonamento com capacidade finita, ou seja, um número de recursos finitos), com dois recursos e três tarefas (que podem ser consideradas como OP) cada qual com duas operações. Essas operações sempre são enumeradas seqüencialmente de tal forma que isto define a sua própria ordem de execução (considerando neste exemplo que cada operação seguinte poderá iniciar apenas quando a anterior estiver pronta). É habitual usar números de sucessão, implicando dessa forma um seqüenciamento obrigatório. As três OP a serem executadas são respectivamente A, B e C.

Os tempos de cada operação de cada OP são demonstrados na tabela 3:

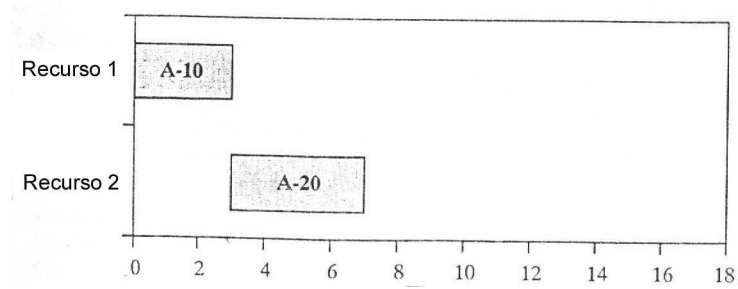
Tabela 3 - Tempos de cada operação de cada OP

OP	Seqüência	Recurso	Tempo Produção
A	10	1	3
A	20	2	4
B	10	2	5
B	20	1	2
C	10	1	3
C	20	2	4

Existem inúmeras maneiras de tal problema ser resolvido por um analista de produção. Uma maneira pouco eficiente seria escalonar cada tarefa uma seguida da outra totalmente independente. Dessa forma, a seqüência ficaria assim:

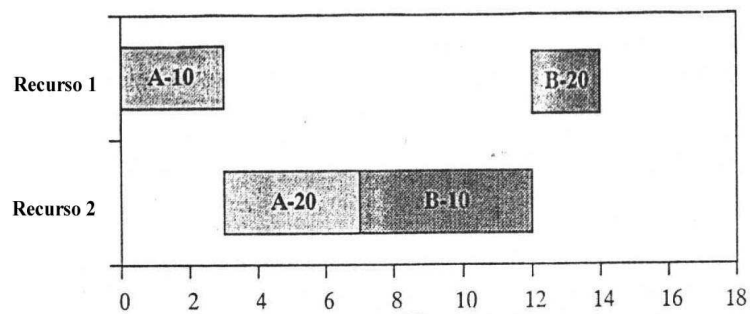
- a) Escalonar a primeira OP, que no caso é a "A", conforme figura 11:

Figura 11 - Escalonamento da O.P. "A"



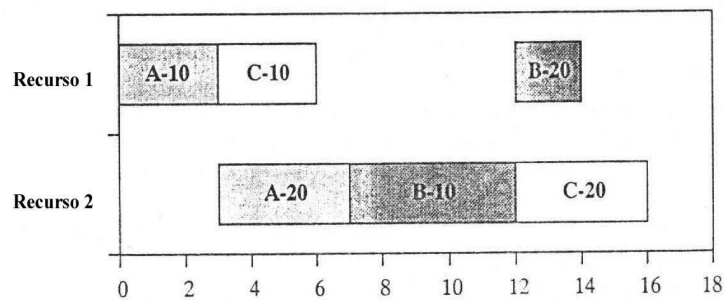
b) Escalonar a segunda OP, que no caso é a "B", conforme figura 12:

Figura 12 - Escalonamento da OP "B"



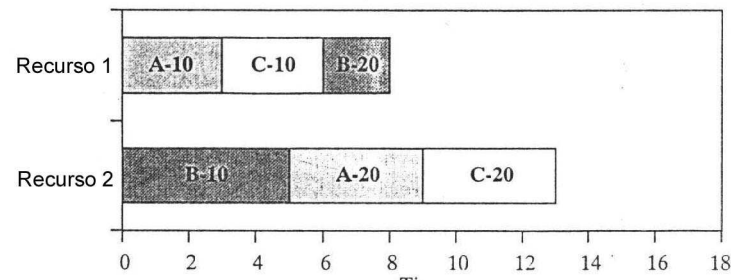
c) Escalonar a última OP, que no caso é a "C", conforme figura 13:

Figura 13 - Escalonamento da OP "C"



Após uma análise, o analista de PCP poderia perceber que existe uma forma melhor de escalonamento para o problema citado acima. Trata-se de manipular as tarefas não de forma independente, dando a possibilidade delas serem remanejadas. Sendo assim, a figura 14 mostra como ficaria este seqüenciamento:

Figura 14 - Escalonamento das OP "A", "B", "C" eficientemente



É importante a consciência de que para cada problema existem várias possíveis formas de resolução. Em problemas práticos que envolvam muitos recursos diferentes e muitas OP diferentes, o número de possíveis soluções é enorme. O que uma organização precisa neste caso, é uma ferramenta ou um método efetivo para gerar uma solução ótima levando em consideração os objetivos de produção.

No problema acima com capacidade finita, pode-se concluir que:

- a) Dado: um conjunto de OP e um conjunto limitado de recursos, ou seja, várias OP e um número finito de recursos;
- b) Achado: um bom escalonamento.

O objetivo, o qual vem a ser o próprio desafio, é sempre determinar ao invés de um **bom escalonamento**, um **ótimo escalonamento**. O alcance desse objetivo pode se tornar um enorme problema por duas principais razões. Primeiro, o problema de grandes planejamentos, isto é, muitos recursos e muitas OP envolvidas, o que é normalmente computacionalmente desafiador na busca da solução ótima, fato que não é possível alcançar em um tempo razoável, ou seja, pequeno. Segundo, há normalmente vários objetivos simultâneos (mínimo atraso, mínimo tempo de ciclo, máxima utilização de recurso, etc.), e estes estão frequentemente em conflito. Sendo assim, na prática, o esforço consiste em achar a melhor solução possível que equilibra estes objetivos e pode ser obtida com computação mínima.

4 ALGORITMOS GENÉTICOS

O termo genética é derivado do grego *Gênesis*, que significa geração ou produção e foi introduzido em 1905 pelo biólogo inglês Wilian Bateson para designar o ramo da biologia que estuda a hereditariedade e a variação dos organismos apresentados biologicamente. A biologia é uma ciência multidisciplinar pois têm vínculos estreitos com várias áreas do conhecimento, como a química, a física, a matemática e a estatística.

John Holland é o fundador da teoria dos algoritmos genéticos (AG), com a publicação do trabalho: *Adaptation in Natural and Artificial Systems* (1975), no qual apresenta o novo conceito e justifica a fácil aplicabilidade, devido a sua simples capacidade de representação (strings de bits) para representar estruturas complicadas, e mecanismos de transformações simples para melhorar tais estruturas.

Holland descreveu o AG como sendo uma estrutura de controle com a qual representações e operações podem ser administradas numa determinada ordem para desenvolver strings de bits, que bem se adaptam ao problema a ser resolvido. Um importante resultado formal enfatizado por Holland, foi que mesmo em problemas de grande porte e com espaços de pesquisa complexos, fornecendo-se determinadas condições no âmbito do problema, os AG tenderão a convergir em soluções ótimas ou se aproximarão delas.

Na natureza, a evolução, em particular nos seres vivos, tem algumas características que motivaram John Holland a começar uma linha de investigação na área que eventualmente se transformou no que se denomina de AG. A habilidade de uma população de cromossomos (dispositivos orgânicos onde as estruturas desses seres são codificadas) para explorar o espaço de busca "em paralelo" e combinar com o melhor que tinha encontrado mediante o mecanismo de *crossover* (termo em inglês equivalente a recombinação ou sobrecruzamento), é algo intrínseco à evolução natural e é explorada pelos AG.

As características da evolução estão escritas brevemente por Davis [DAV1987] da seguinte maneira:

- a) a evolução é um processo que opera nos cromossomos dos seres vivos;
- b) os processos de seleção natural (ligação entre os cromossomos e o desempenho de suas estruturas decodificadas) provocam que aqueles cromossomos que codificam

estruturas com êxito se reproduzem mais freqüentemente que aqueles que não o fazem;

- c) as mutações (alterações aleatórias de genes) podem causar que os cromossomos dos filhos sejam diferentes que os dos pais e os processos de recombinações podem criar cromossomos bastante diferentes nos filhos pela combinação de material genético dos cromossomos dos pais;
- d) a evolução biológica não tem memória. A produção de um novo indivíduo depende apenas de uma combinação de genes da geração que o produz.

A premissa dos AG está nos números investigadores que os utilizam como metaheurística para otimização, e que podem encontrar soluções aproximadas a problemas de grande complexidade computacional mediante um processo de "evolução simulada", em particular com um algoritmo matemático implementado em um computador. Devido ao trabalho original de Holland, isto inicialmente ocorrera em forma de algoritmos que manipulavam strings binárias, que são denominadas de cromossomos, e eles representam juntos um espaço para configurações de problemas.

Como ocorre na evolução biológica, a evolução simulada estará desenhada para encontrar cada vez melhores cromossomos mediante uma manipulação "cega" de seus componentes. O termo "cega" se refere ao fato que o processo não tem nenhuma informação sobre o problema que está tratando de resolver, exceto o valor da função objetivo, que vem a ser a única informação para se evoluir o "valor" de um cromossomo.

Na evolução dos seres vivos, o problema que cada indivíduo encontra quotidianamente é a sua sobrevivência. Eles contam com habilidades natas previstas em seu material genético. A nível dos genes, o problema é buscar aquelas adaptações que beneficiam em um ambiente hostil. Devido em parte à seleção natural, cada espécie ganha uma certa quantidade de "conhecimento", o qual é codificado e incorporado na nova formação de seus cromossomos. Esta configuração se vê alterada pelas operações de reprodução. Algumas delas são mutações aleatórias, inversões de partes do cromossomo e do sobrecruzamento, que é o intercâmbio de material genético proveniente dos cromossomos pais.

Muitas experiências comprovam que a seleção natural é um fato incontestável, podendo não ser o único mecanismo evolutivo, porém sem dúvida um dos fatores principais

do processo. Uma das principais constatações dessa evolução foi alcançada através de uma experiência realizada em laboratório, onde uma placa contendo cem milhões de bactérias foi posta em contato com uma dose de penicilina insuficiente para o combate total das mesmas. Observou-se que as dez bactérias que haviam sobrevivido se reproduziram na própria placa, e que essa nova geração sobreviveram ao meio, mesmo com a presença da penicilina. Dobrou-se então a quantidade do antibiótico e observou-se que quase todas as bactérias morreram. Novamente as poucas bactérias que sobreviveram a nova dosagem passaram a se multiplicar, sendo novamente expostas à dosagens cada vez mais altas. Esse processo se repetiu por cinco gerações e ao final da experiência, apresentou-se uma linhagem de bactérias resistentes a uma dose de penicilina duas mil e quinhentas vezes maior do que a inicial, utilizada na primeira cultura. É importante observar que as bactérias não desenvolveram individualmente resistência à penicilina, eram descendentes das poucas bactérias que herdaram uma característica favorável à sua sobrevivência naquele meio, havendo, portanto, um processo biológico de adaptação ao meio [JUN1999].

Nos AG mutações aleatórias provem certa variação e ocasionalmente alterações benéficas aos cromossomos. A "inversão" é um mecanismo que altera a situação dos genes nos cromossomos, permitindo que alguns genes aumentem a probabilidade de se mover em conjunto durante o sobre cruzamento. Este último mecanismo é o responsável pelo intercâmbio do material genético entre os pais para ser combinado nas estruturas filhas.

A existência de sobre cruzamento governa a eficiência dos algoritmos genéticos e os destaca nitidamente dos outros tipos de metaheurística. Com ele, as características dos pais podem ser combinadas imediatamente quando se reproduzem. Portanto, a probabilidade desta combinação se acrescenta quando os pais tem um nível elevado de *fitness* (grau de adaptação), devido a se reproduzirem com maior frequência.

O conceito básico da evolução genética biológica é: "quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes". A área biológica mais proximamente ligada aos AG é a Genética Populacional.

4.1 COMPOSIÇÃO DE UM AG

Em busca da solução ótima a problemas de otimização combinatória de grande escala, um AG funciona da seguinte maneira: inicialmente, é gerada uma população formada por um conjunto aleatório de indivíduos que podem ser vistos como possíveis soluções do problema (pais potenciais de uma nova população). Durante o processo evolutivo, esta população é avaliada: para cada indivíduo é dada uma nota, ou índice, refletindo sua habilidade de adaptação a determinado ambiente (nada mais é que o valor de *fitness* que está relacionado com o valor da função objetivo por otimizar. Uma porcentagem dos mais adaptados são mantidos, enquanto os outros são descartados (*darwinismo*). Os membros mantidos pela seleção podem sofrer modificações em suas características fundamentais através de mutações e cruzamento ou recombinação genética gerando descendentes para a próxima geração. Este processo, chamado de reprodução, é repetido até que uma solução satisfatória seja encontrada.

Para prevenir que os melhores indivíduos não desapareçam da população pela manipulação dos operadores genéticos (cruzamento e mutação), eles podem ser automaticamente colocados na próxima geração, através da reprodução elitista.

O quadro 2 mostra um exemplo de algoritmo genético. Durante esse processo, os melhores indivíduos, assim como alguns dados estatísticos, podem ser coletados e armazenados para avaliação.

Quadro 2 - Exemplo de Algoritmo Genético

Procedimento AG

```

{ t = 0;
  inicia_população (P, t)
  avaliação (P, t);
  repita até (t = d)
    { t = t + 1;
      seleção_dos_pais (P, t);
      recombinação (P, t);
      mutação (P, t);
      avaliação (P, t);
      sobrevivem (P, t)
    }
}

```

onde:

t - tempo atual;

d - tempo determinado para finalizar o algoritmo;

P – população

Fonte: ([CAR2000])

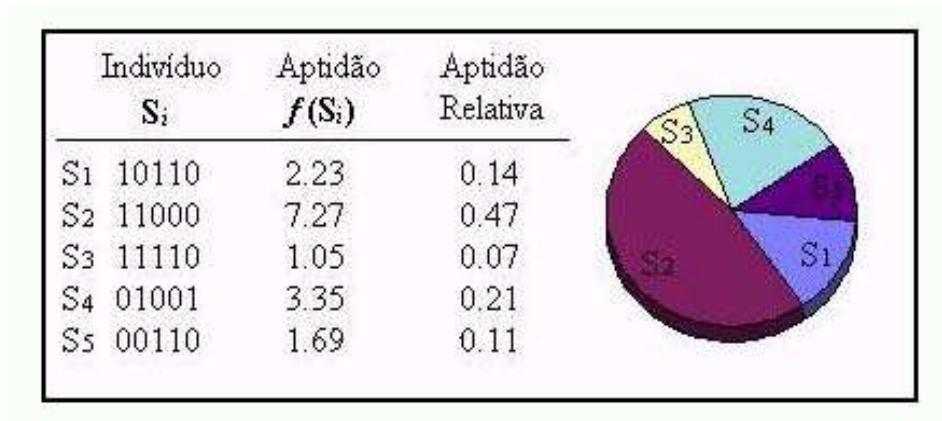
Estes algoritmos, apesar de serem computacionalmente muito simples, são bastante poderosos.

A maioria dos métodos de seleção são projetados para escolher preferencialmente indivíduos com maiores notas de aptidão, embora não exclusivamente, a fim de manter a diversidade da população. Um método de seleção muito utilizado é o Método da Roleta, onde indivíduos de uma geração são escolhidos para fazer parte da próxima geração, através de um sorteio de roleta.

Neste método, cada indivíduo da população é representado na roleta proporcionalmente ao seu índice de aptidão. Assim, aos indivíduos com alta aptidão é dada uma porção maior da roleta, enquanto aos de aptidão mais baixa é dada uma porção relativamente menor da roleta. Finalmente, a roleta é girada um determinado número de

vezes, dependendo do tamanho da população, e são escolhidos, como indivíduos que participarão da próxima geração, aqueles sorteados na roleta, conforme a figura 15:

Figura 15 - Indivíduos de uma população e a sua correspondente roleta de seleção



Fonte: ([CAR2000])

Independentemente de como possa ser sofisticado o projeto de um AG, existem cinco componentes que devem ser incluídos:

- uma representação, em termos de "cromossomos", das configurações do nosso problema;
- uma maneira de criar as configurações da população inicial;
- uma função de evolução que permite ordenar os cromossomos de acordo com a função objetivo;
- operadores genéticos que permitem alterar a composição dos novos cromossomos gerados pelos pais durante a reprodução;
- valores dos parâmetros que o algoritmo genético usa (tamanho da população, probabilidades associadas com a aplicação dos operadores genéticos, etc.).

4.2 OPERADORES GENÉTICOS

O princípio básico dos operadores genéticos é transformar a população através de sucessivas gerações, estendendo a busca até chegar a um resultado satisfatório. Os operadores genéticos são necessários para que a população se diversifique e mantenha características de adaptação adquiridas pelas gerações anteriores.

O operador de **mutação** é necessário para a introdução e manutenção da diversidade genética da população, alterando arbitrariamente um ou mais componentes de uma estrutura escolhida, fornecendo assim, meios para introdução de novos elementos na população. Desta forma, a mutação assegura que a probabilidade de se chegar a qualquer ponto do espaço de busca nunca será zero, além de contornar o problema de mínimos locais, pois com este mecanismo, altera-se levemente a direção da busca. O operador de mutação é aplicado aos indivíduos com uma probabilidade dada pela taxa de mutação P_m ; geralmente se utiliza uma taxa de mutação pequena, pois é um operador genético secundário. A figura 16 mostra um exemplo de mutação:

Figura 16 - Exemplo de mutação

Antes da Mutação:	1 1 1 0 0
Depois da Mutação:	1 1 0 0 0

Fonte: ([CAR2000])

O **cruzamento** é o operador responsável pela recombinação de características dos pais durante a reprodução, permitindo que as próximas gerações herdem essas características. Ele é considerado o operador genético predominante, por isso é aplicado com probabilidade dada pela taxa de *crossover* P_c , que deve ser maior que a taxa de mutação.

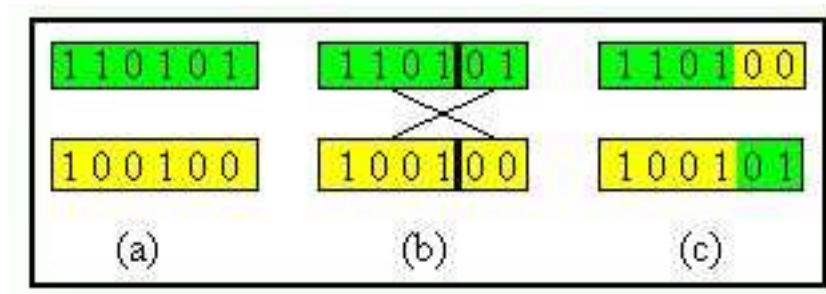
Este operador pode, ainda, ser utilizado de várias maneiras, as mais utilizadas são:

- a) **um-ponto:** um ponto de cruzamento é escolhido e a partir deste ponto as informações genéticas dos pais serão trocadas. As informações anteriores a este ponto em um dos pais são ligadas às informações posteriores à este ponto no outro pai;
- b) **multi-pontos:** é uma generalização desta idéia de troca de material genético através de pontos, onde muitos pontos de cruzamento podem ser utilizados;
- c) **uniforme:** não utiliza pontos de cruzamento, mas determina, através de um parâmetro global, qual a probabilidade de cada variável ser trocada entre os pais.

A figura 17 mostra um exemplo de *Crossover* de um ponto, partindo do princípio que:

- a) (a) dois indivíduos são escolhidos.
- b) (b) um ponto (4) de *crossover* é escolhido.
- c) (c) são recombinadas as características, gerando dois novos indivíduos.

Figura 17 - Exemplo de *Crossover* de um ponto



Fonte: ([CAR2000])

4.3 PARÂMETROS GENÉTICOS

É importante também, analisar de que maneira alguns parâmetros influem no comportamento dos AG, para que se possa estabelecê-los conforme as necessidades do problema e dos recursos disponíveis ([CAR2000]):

- a) **Tamanho da População** - o tamanho da população afeta o desempenho global e a eficiência dos AG. Com uma população pequena o desempenho pode cair, pois deste modo a população fornece uma pequena cobertura do espaço de busca do problema. Uma grande população geralmente fornece uma cobertura representativa do domínio do problema, além de prevenir convergências prematuras para soluções locais ao invés de globais. No entanto, para se trabalhar com grandes populações, são necessários maiores recursos computacionais, ou que o algoritmo trabalhe por um período de tempo muito maior;
- b) **Taxa de Cruzamento** - quanto maior for esta taxa, mais rapidamente novas estruturas serão introduzidas na população. As conseqüências são: com um valor alto, a maior parte da população será substituída, mas com valores muito altos pode ocorrer perda de estruturas de alta aptidão. Com um valor baixo, o algoritmo pode tornar-se muito lento;
- c) **Taxa de Mutação** - uma baixa taxa de mutação previne que uma dada posição fique estagnada em um valor, além de possibilitar que se chegue em qualquer ponto

do espaço de busca. Com uma taxa muito alta a busca se torna essencialmente aleatória;

- d) **Intervalo de Geração** - controla a porcentagem da população que será substituída durante a próxima geração. As conseqüências são as mesmas da taxa de cruzamento.

4.4 A POPULAÇÃO INICIAL

A utilização do algoritmo genético na resolução de um determinado problema depende fortemente da realização de dois importantes passos iniciais ([JUN1999]):

- a) encontrar uma forma adequada de se representar soluções possíveis do problema em forma de cromossomo;
- b) determinar uma função de avaliação que forneça uma medida do valor (da importância) de cada cromossomo gerado, no contexto do problema.

A população inicial de um AG pode ser criada de diferentes maneiras. Embora pareça estranho, ao enfrentar-se com um problema novo pode-se aprender muito inicializando esta população de maneira aleatória. Fazer evoluir uma população que já foi gerada aleatoriamente até chegar a ter uma bem adaptada (com configurações satisfatórias que são soluções aproximadas do problema de otimização), é um bom teste para saber como está funcionando a implementação do AG.

4.5 EVOLUÇÃO DO NÍVEL DE *FITNESS*

A função utilizada para vencer os valores de *fitness* dos membros da população deve ser tal que dê como resultado uma boa discriminação. Este é o motivo pelo qual muitas implementações de AG usam certo tipo de processo de "normalização", no seguinte sentido: suponhamos que os resultados da solução de uma função objetivo atinjam um valor de 1.020 a um indivíduo muito bom enquanto que dá um valor de 1.000 a um que é muito mau. Se estes valores foram utilizados sem alteração como medidas do valor de *fitness* na fase de reprodução, seria necessário muito tempo para que os descendentes do primeiro indivíduo influam mais do que os do pior indivíduo. A normalização deve ser empenhada na importância das melhoras sem estragar todo material genético relevante presente nesta população.

Se a normalização está influenciada muito fortemente pelo melhor indivíduo, é muito possível que a busca se concentre naquela região de espaço de configurações cercada à ela, perdendo assim parte das vantagens do paralelismo intrínseco dos AG. Por outro lado, se não tem certa precisão para as melhores soluções, pode-se ter uma busca que é demasiada lenta.

É muito importante ao projetar uma função de evolução, levar em conta as restrições do problema. A satisfação destas restrições podem ser levadas a cabo e impor penalidades em indivíduos que as violam, criando decodificadores da representação que evitem gerar indivíduos não possíveis. Uma função de evolução que incorpora um término de penalização tem a seguinte forma:

$$Fitness = \text{valor objetivo normalizado} - \text{penalização} * \text{medida impossibilidade}$$

Supondo que o melhor indivíduo tenha o maior valor. Se o valor da penalização é alto e o domínio do problema é tal que é provável a produção de indivíduos não válidos, pode ocorrer então que quando se encontre um indivíduo válido, este exerça influência sobre os outros e a população convirja para ele, independentemente busca os melhores indivíduos. Isto pode ocorrer porque os caminhos para melhores indivíduos possíveis requerem a produção de outros indivíduos possíveis requerem a produção de outros indivíduos não possíveis como passos intermediários e os valores de penalização tornam impossíveis que estas estruturas intermediárias se façam presentes na população, se diversifiquem e se reproduzam.

Uma maneira de ajustar dinamicamente o valor da penalização é incorporar o conceito de "oscilação estratégica", que foi originalmente concebido como uma maneira de introduzir diversificação na busca tabu. A forma mais direta é assumir que tem sido encontrada uma medida de indivíduos não possíveis, a qual quantifica a violação das restrições.

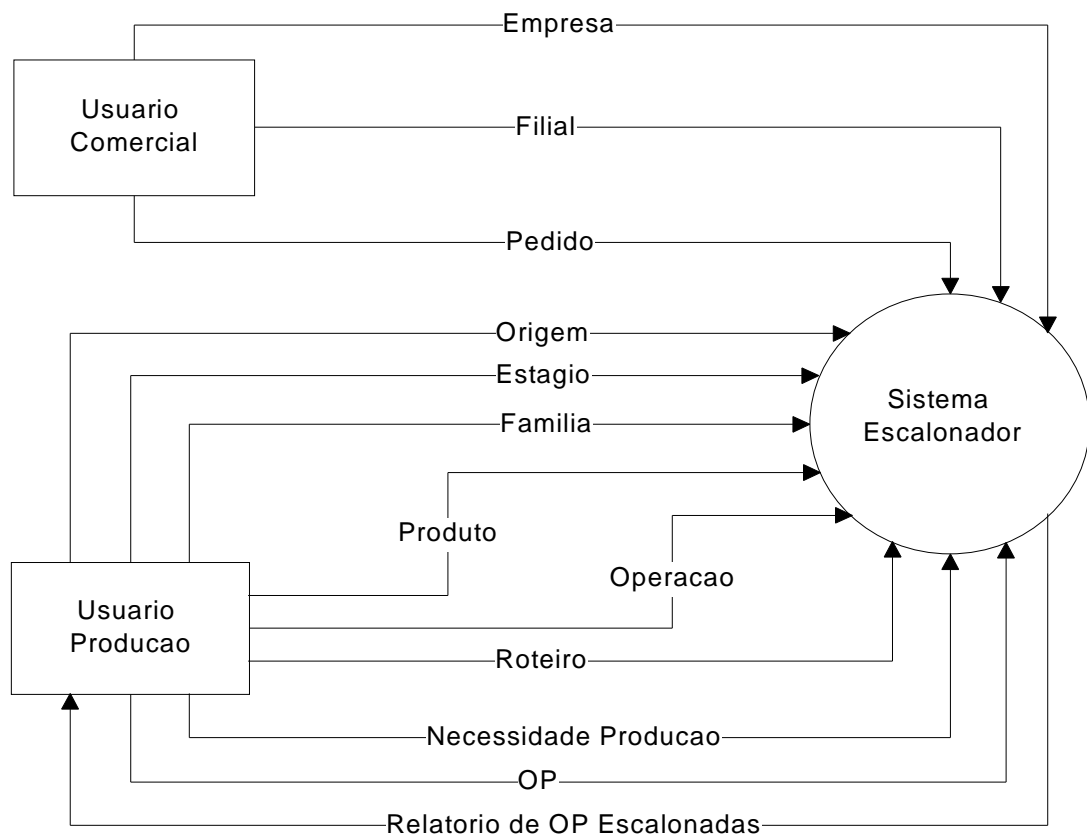
Uma vez avaliado o *fitness* de um indivíduo, é realizado um teste para comparar esse valor com o *fitness* associado ao melhor indivíduo criado durante todo o processo evolutivo. Se o *fitness* é superior ao do melhor encontrado até esse momento, é substituído garantindo assim que ao término da simulação o melhor indivíduo encontrado estará na memória apesar de não estar presente necessariamente na população final. A convergência do processo evolutivo em um indivíduo particular é geralmente usada como um critério de finalização do AG.

5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

5.1 DIAGRAMA DE CONTEXTO

O protótipo do presente trabalho foi feito em forma de estágio supervisionado e incorporado a um sistema já existente na empresa com o nome de Sapiens. Na figura 18 é mostrado o diagrama de contexto da estrutura do Sapiens em conjunto com o escalonador:

Figura 18 - Diagrama de Contexto

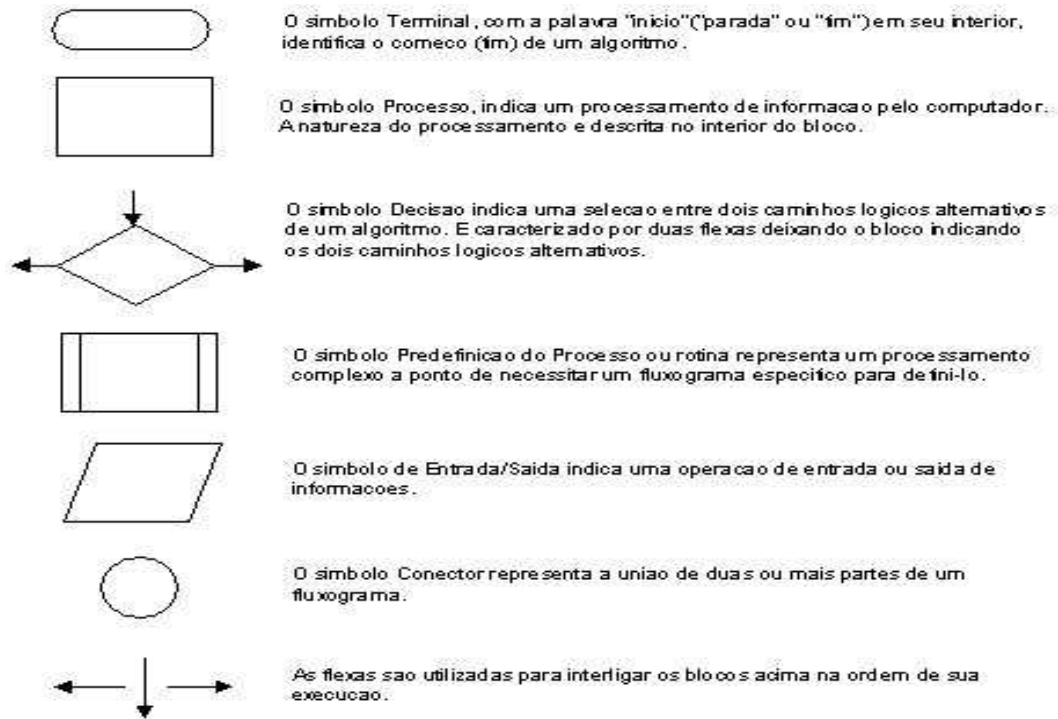


5.2 FLUXOGRAMA ESTRUTURADO

Enquanto que a lógica de programação refere-se à ordem na qual o computador executa as instruções do programa (diferente da ordem física na qual aparecem na listagem-fonte), um fluxograma estruturado é um diagrama que mostra a ordem das operações em um algoritmo. Deste modo, um fluxograma estruturado poderá ser utilizado no projeto da parte lógica da solução de um problema, antes que se escreva o programa em uma linguagem qualquer. Se o fluxograma for mantido atualizado, refletindo as alterações do programa, terá utilidade na documentação do programa ([NEW1985]).

A figura 19 contém os símbolos-padrão de fluxograma conforme [NEW1985]:

Figura 19 - Símbolos-padrão de Fluxograma



Fonte: ([NEW1985])

Com base nesses símbolos, é demonstrado nas figuras 20, 21, 22 e 23 o fluxograma estruturado do estágio supervisionado, levando em consideração os dados a serem lidos das tabelas e atributos do sistema Sapiens que são relatados em Anexo 1:

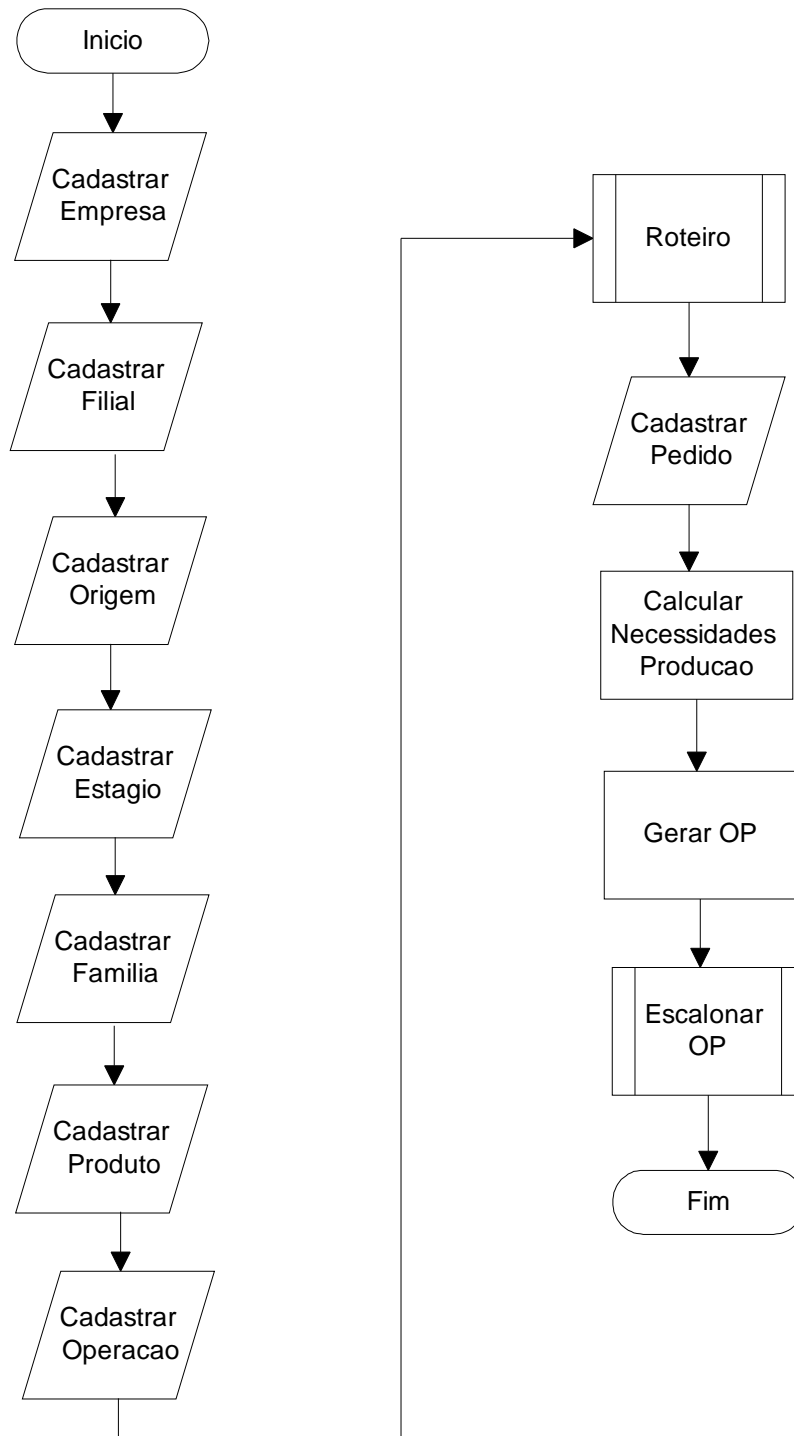
Figura 20 - Fluxograma estruturado Geral

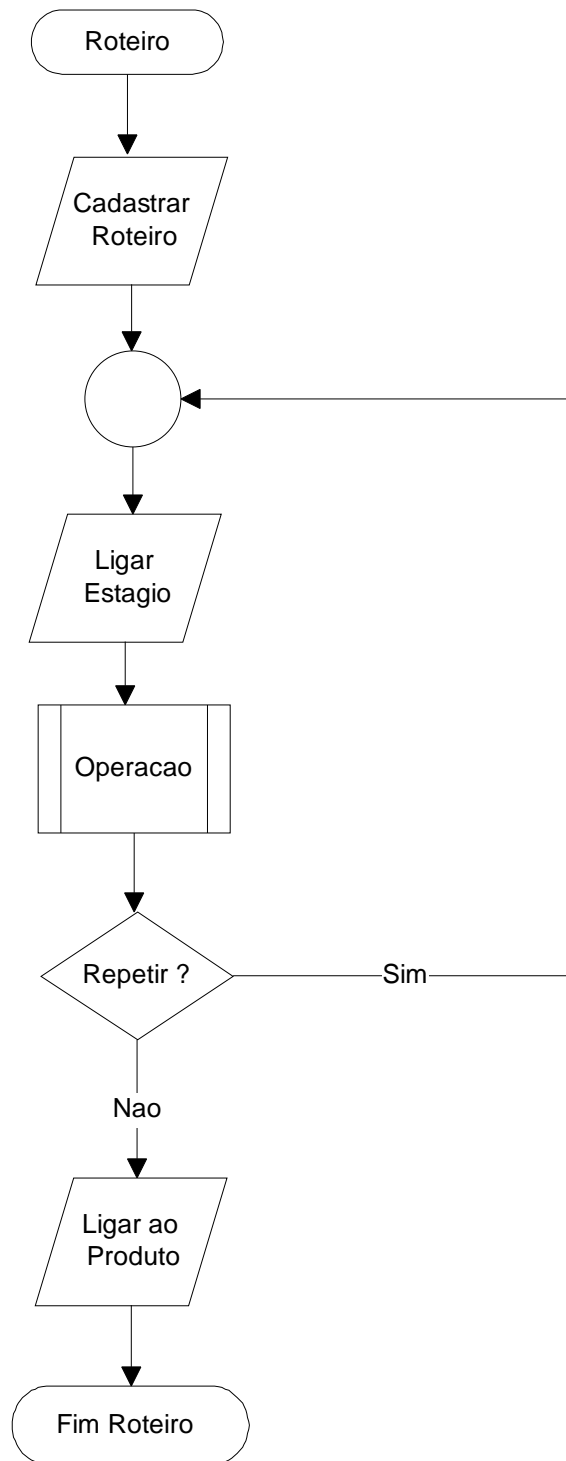
Figura 21 - Fluxograma do Roteiro

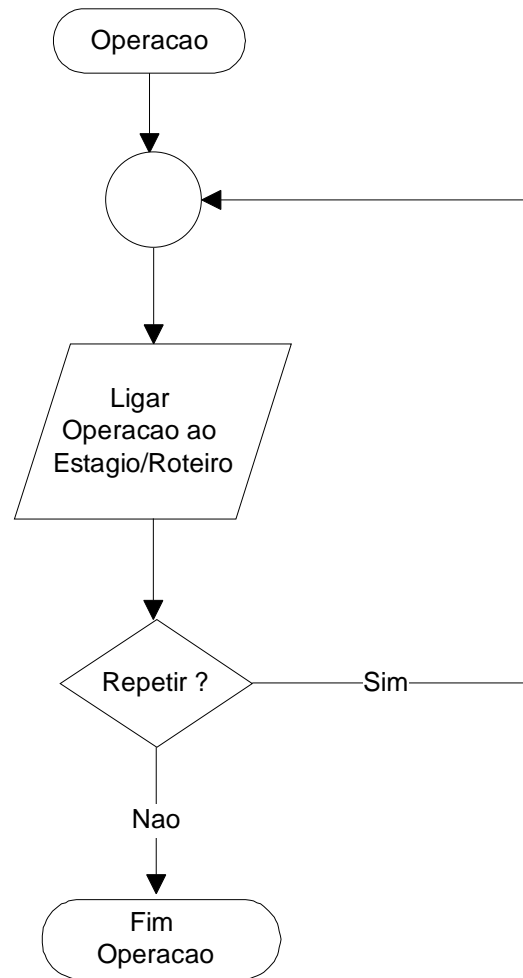
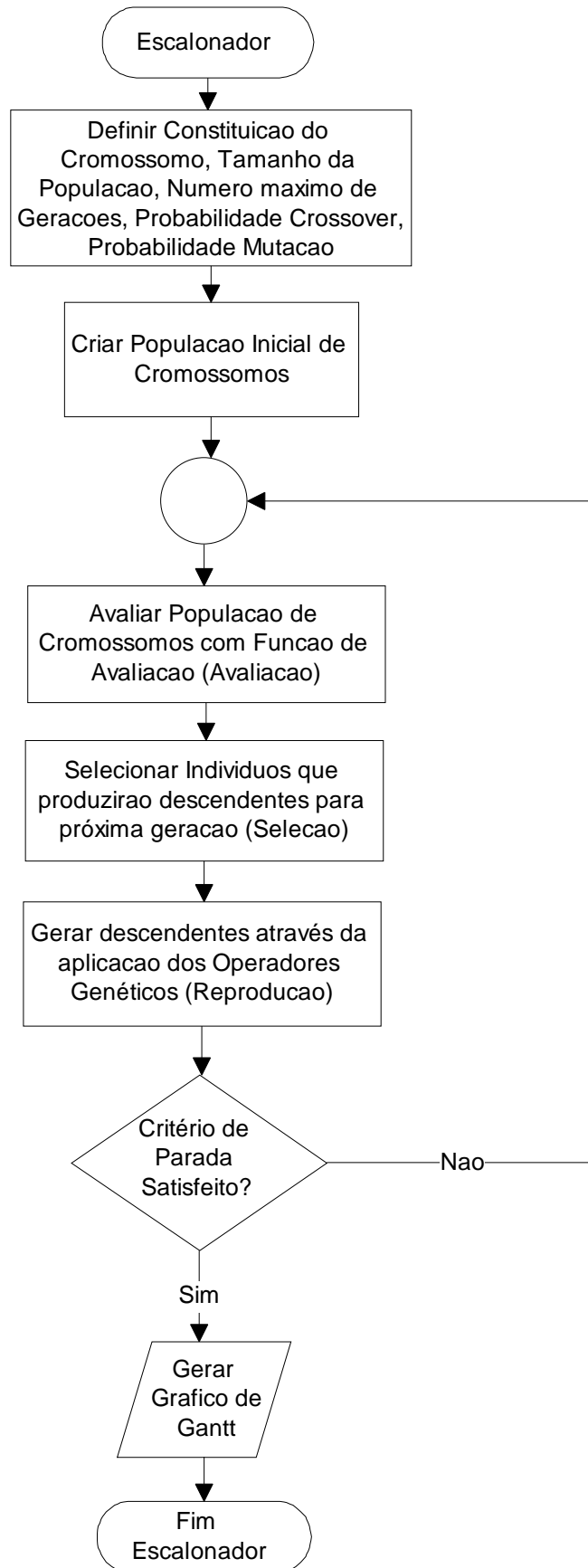
Figura 22 - Fluxograma da Operação

Figura 23 - Fluxograma do Escalonador

5.3 ALGORITMO DA IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro procedimento é utilizando a linguagem SQL para fazer um acesso ao banco de dados (local onde fisicamente estão armazenados todos os dados) recuperando todas as OP a serem escalonadas. Após ter recuperado esses dados, chegou-se ao ponto de definir todos os detalhes necessários para utilização de uma técnica de Inteligência Artificial, no caso deste trabalho AG.

5.3.1 SOBRE A ESTRUTURA DE DADOS

5.3.1.1 O INDIVÍDUO, O CROMOSSOMO E O GENE

No protótipo a desenvolver, definiu-se que um cromossomo representa uma seqüência de operações executadas em um recurso. Um gene é cada uma das operações (identificadas por um código) a executar no cromossomo (recurso) a que pertencem. A ordem das operações é naturalmente a ordem dos genes. O indivíduo é uma solução, ou seja, um conjunto de recursos que executam as operações.

5.3.1.2 FORMA INDEXADA E FORMA DESINDEXADA

Definiu-se que os indivíduos são guardados em duas formas diferentes: indexada e desindexada. Um motivo para tanto, é a preocupação de poupar ao máximo esforço computacional. Na forma indexada, consideramos que as posições dos genes dentro do fragmento se relacionam com as operações da seguinte forma: o valor do gene nesta forma, representa o número de deslocamentos para a direita necessárias para posicionar o gene na sua posição real. As deslocamentos podem ser encaradas como saltos, já que uma posição ocupada, deixa de ser considerada. A necessidade do formato indexado reside na garantia da factibilidade de todos os indivíduos (exceto no caso de provocarem *deadlocks*), quando sujeitos às operações de manipulação genética. A factibilidade não seria assegurada se os cromossomos se mantivessem na forma desindexada, durante as operações referidas, pois isso poderia provocar nas fases de cruzamento e mutação, o aparecimento de operações repetidas, onde, para evitar isto, teriam de ser implementados artifícios que restringissem as operações de cruzamento e mutação, o que penalizaria gravemente o desempenho. Para saber o tempo final de cada indivíduo, é necessário desindexar os cromossomos do indivíduo, restabelecendo as posições corretas das operações.

5.3.1.3 FUNÇÃO DE FITNESS

A avaliação do desempenho de um indivíduo prende-se com a qualidade do sequenciamento das operações por ele representado. No nosso caso, optou-se por uma função de avaliação (*fitness*) baseada no fator tempo, ou seja, quanto menor o tempo de finalização para execução de todas as operações nas diversas máquinas, melhor é o desempenho e vice versa. Esta função por sua vez, começa por desindexar todos os indivíduos e calcular os tempos de finalização de cada um deles. Após isso, viu-se a necessidade de criar dois tipos de indivíduos: os factíveis (que obedecem as restrições tecnológicas e consequentemente podem ser executados) e os não factíveis (onde o sequenciamento não é possível segundo as restrições impostas). Para estes indivíduos não factíveis, decidiu-se atribuir um grau de não factibilidade, mas sempre com o cuidado de garantir que o desempenho de todos estes indivíduos não factíveis está abaixo do pior factível, servindo apenas para, de algum modo, estabelecer uma hierarquia entre os não factíveis, já que estes não podem ser totalmente desperdiçados por possuírem eventualmente um material genético interessante e principalmente quando um indivíduo apresentar um *deadlock* muito cedo, encobrendo uma solução ótima (o que normalmente acontece no arranque de problemas difíceis), em que demora algum tempo até o sistema começar a encontrar soluções factíveis.

A partir daqui houve a pergunta: Como definir quem é o melhor indivíduo e quem é o pior? Partiu-se do princípio que o *fitness* ideal (máximo) e o pior como sendo os limites extremos. Assim, o melhor *fitness* corresponde ao tempo resultante da soma de todos os tempos das operações a dividir pelo número de máquinas (tempo mínimo possível) e o pior *fitness* foi considerado como sendo o correspondente ao tempo resultante da soma de todos os tempos das operações (tempo máximo possível).

Viu-se também a necessidade de criar um escalamento da função *fitness*. Isto se dá porque as vezes, situações em que os valores de *fitness* dos indivíduos factíveis e os dos não factíveis não estão na mesma escala, ou seja, o valor de desempenho dos não factíveis é muito pequeno, mesmo desprezável, relativamente ao valor dos factíveis. Esta situação não é desejável, porque valoriza ao extremo os factíveis, desprezando o material genético dos não factíveis. Esta operação realiza uma interpolação baseada nos valores mínimo, médio e máximo do *fitness* da população, resultando valores na mesma escala, ou seja, mantendo a hierarquia dos indivíduos, aumenta o valor do desempenho dos piores e diminui o dos

melhores. Deste modo, o material genético dos piores pode “competir” com o dos melhores, embora se mantenha a hierarquia.

O quadro 3 mostra como foi implementado a operação de escalamento da função *fitness*:

Quadro 3 - Escalamento da função fitness

```

Procedure escala_fitness;
Var
  i : Integer;
  nao_da : Boolean;
  a, b, dif : Double
  aux : PASTrDouble;
begin
  i := 0;
  nao_da := False;
  aux := PASTrDouble (calloc(n_indiv, sizeof(Double)));
  if (fit_min > ((c_multi * fit_med - fit_max) / (c_multi - 1))) then
    begin
      dif := fit_max - fit_med;
      a := (c_multi - 1) * fit_med / dif;
      b := fit_med * (fit_max - c_multi * fit_med) / dif;
    end
  else begin
      dif := fit_med - fit_min;
      a := fit_med / dif;
      b := -fit_min * fit_med / dif;
    end;
  fit_med := 0.0;
  fit_max := 0.0;
  fit_min := 50000.0;
  { Calculo do novo fitness para cada indivíduo }
  for i := 0 to (n_indiv - 1) do
    begin
      aux[i] := a * fitness_pop[i] + b;
      if (aux[i] < 0.0001) then
        aux[i] := 0.0;
      if ((aux[i] < 0) or (aux[i] >= fitness_ideal)) then
        begin
          nao_da := True;
        end;
      fit_med := fit_med + fitness_pop[i];
      if (fitness_pop[i] < fit_min) then
        fit_min := fitness_pop[i];
      if (fitness_pop[i] > fit_max) then
        fit_max := fitness_pop[i];
    end;
  if not(nao_da) then
    for i := 0 to (n_indiv - 1) do
      fitness_pop[i] := aux[i];
  fit_med := fit_med / n_indiv;
  FreeTab (@aux);
end;

```

5.3.1.4 OPERADORES

Tentou-se cobrir um leque diversificado de operadores sobre a população. Para tanto, implementou-se os seguintes operadores:

- a) reprodução: associada a roleta de probabilidade;
- b) elitismo: é escolhido uma fatia da população, contendo os indivíduos com melhor desempenho e passá-los à geração seguinte sem que seja sujeita às probabilidades da roleta. É um processo genético útil, porque por vezes é muito difícil a convergência para a melhor solução. No entanto, quando a percentagem de elitismo é muito alta, o efeito causado é desastroso, pois são poucos os indivíduos que não são substituídos pela elite, o que pode tornar a população bastante vulnerável a alterações na seqüência dos operadores;
- c) seletividade: é um operador sobre a população que também escolhe uma fatia da população, mas contendo os indivíduos com pior desempenho, e passa-a à geração seguinte sem que seja sujeita às probabilidades da roleta. Consiste numa percentagem sobre o número de indivíduos da população, originando uma fasquia de *fitness*. Poderá consistir um processo genético útil, quando usada com valores baixos, porque permite a reutilização de material genético com uma grande desvantagem de *fitness* à partida. Quando utilizada com valores de percentagem elevados, tem resultados catastróficos óbvios para o desempenho da população no sua totalidade;
- d) cruzamento: pode acontecer de 3 formas possíveis: entre máquinas diferentes, no mesmo indivíduo, em que a probabilidade de cruzamento é testada máquina a máquina; com um número aleatório de máquinas, entre indivíduos diferentes, em que a probabilidade de cruzamento é testada indivíduo a indivíduo; e com todas as máquinas, entre indivíduos diferentes, em que a probabilidade de cruzamento é testada indivíduo a indivíduo;
- e) mutação: pode acontecer em um número de genes aleatórios, em que a probabilidade de mutação é testada cromossomo a cromossomo, assim como também em todos os genes de um cromossomo, onde a probabilidade de mutação é testada cromossomo a cromossomo;
- f) inversão: também podem acontecer de duas formas: a primeira forma consiste em inverter um número de genes aleatório, testando a probabilidade de inversão

cromossomo a cromossomo, enquanto a segunda forma da inversão realiza-se sobre um número de genes aleatório, de um número de cromossomos aleatório, em que a probabilidade de inversão é testada indivíduo a indivíduo.

O quadro 4 mostra como foi implementado o operador mutação:

Quadro 4 - Implementação do operador mutação

```

Procedure mutacao1;          { mutação máquina a máquina
(operações aleatórias) }
  Var
    i, j, k, m : Integer;
    pos,                { posição do gene a mutar }
    sorte,
    n_allien,           { número de genes a mutar }
    allien : Integer;   { novo gene (gene resultante da
mutação) }
    aux_mutados : PASTrInteger; { array com as máquinas já
cruzadas }
  begin
    { array auxiliar que contem os genes da máquina já mutados }
    aux_mutados := PASTrInteger (calloc(n_job -
1, sizeof(integer)));
    for i := 0 to (n_indiv - 1) do
      for j := 0 to (n_maq - 1) do
        begin
          for m := 0 to (n_job - 2) do
            aux_mutados[m] := 0;
            sorte := random(101);
            if ((sorte <= Prob_Mutacao) and (sorte <> 0))
then
              begin
                n_allien := random(n_job - 1) + 1;
                for k := 0 to (n_allien - 1) do
                  begin
                    pos := random(n_job - 1);
                    while (aux_mutados[pos] <> 0) do
                      if (pos = n_job - 2) then
                        pos := 0;
                      else inc(pos);
                    allien := random(n_job);
                    pop[i][j][pos] := allien;
                    aux_mutados[pos] := 1;
                  end;
                end;
              end;
            end;
          end;
        FreeTab (@aux_mutados);
      end;
    end;
  end;

```

No quadro 5 é demonstrado como foi implementado o operador inversão:

Quadro 5 - Implementação do operador Inversão

```

procedure inversao1; { inversão máquina a máquina (no de
operações aleatórios) }
var
  sorte, cortel, corte2, s, maq_inv, m, i, z : Integer;
  avesso : Char;
begin
  for i := 0 to (n_indiv - 1)
  for m := 0 to (n_maq - 1) do
  begin
    sorte := random(101);
    if ((sorte <= Prob_Inversao) and (sorte <> 0)) then
{se ha inversao}
    begin
      corte2 := random(n_job);
      cortel := random(n_job);
      while (cortel = corte2) do
        corte2 := random(n_job);
      if (cortel >= corte2) then
        begin
          s := cortel;
          cortel := corte2;
          corte2 := s;
        end;
      if ((corte2 - cortel) <> 1) then
        for s := 0 to (((corte2 - cortel) / 2) -
1) do
          begin
            avesso := pop[i][m][cortel + s];
            pop[i][m][cortel + s] :=
pop[i][m][corte2 - s - 1];
            pop[i][m][corte2 - s - 1] := avesso;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

Como o tempo disponível não foi o suficiente para o término das implementações do AG para escalonamento das tarefas a serem executadas, foi utilizada uma técnica de programação tradicional para fazer este trabalho, porém, esta técnica utilizada apresenta algumas limitações sérias para se chegar em uma solução ótima na maioria dos casos (fato que direciona para a utilização de uma técnica de Inteligência Artificial). Além disso, não há intervenção do usuário quanto a que restrições o programa de escalonamento deverá dar maior

importância. Essas limitações baseiam-se em não haver uma explosão de combinações para achar a melhor solução possível. Pois ele parte das informações recuperadas do banco de dados já ordenadas pela data de entrega do pedido, prioridade da OP e seqüência de execução das operações nos determinados recursos. A partir disso, o algoritmo montado vai a procura de espaços ociosos nos recursos para alocar a operação da OP.

Na figura 24 é demonstrado um relatório com as OP antes do escalonamento ser executado, onde as datas e horas aparecem zeradas:

Figura 24 - Relatório de OP antes de escalonadas

0030.Fermax Ind. Comp. Esq. Ltda											Data/Hora de Início e Fim das Operações		Página: 1	
Origem	O.P.	Estágio	Seq.	Operação	Abreviatura	Tempo	U. M.	Tempo	Data Início	Hora	Data Fim	Hora	Prioridade	
Recurso: PR4602											Abreviatura: Lichamento		Descrição: Lichamento	
PF	9	930	50	PAR001	Parafusar	180,0000	Minutos		00/00/0000	00:00	00/00/0000	00:00	0	
PF	10	930	80	PAR001	Parafusar	120,0000	Minutos		00/00/0000	00:00	00/00/0000	00:00	0	
PF	11	930	50	PAR001	Parafusar	180,0000	Minutos		00/00/0000	00:00	00/00/0000	00:00	0	
Total de Operações no Recurso:													3	
Recurso: PR4608											Abreviatura: Embalagem		Descrição: Embalagem	
PF	9	930	70	EMB001	EmbProd.	240,0000	Minutos		00/00/0000	00:00	00/00/0000	00:00	0	
PF	10	930	70	EMB001	EmbProd.	300,0000	Minutos		00/00/0000	00:00	00/00/0000	00:00	0	
PF	11	930	70	EMB001	EmbProd.	240,0000	Minutos		00/00/0000	00:00	00/00/0000	00:00	0	
Total de Operações no Recurso:													3	
Total Geral de Operações no(s) Recurso(s):													6	

Na figura 25 é demonstrado um relatório com essas mesmas OP após o escalonamento ser executado:

Figura 25 - Relatório de OP após escalonadas

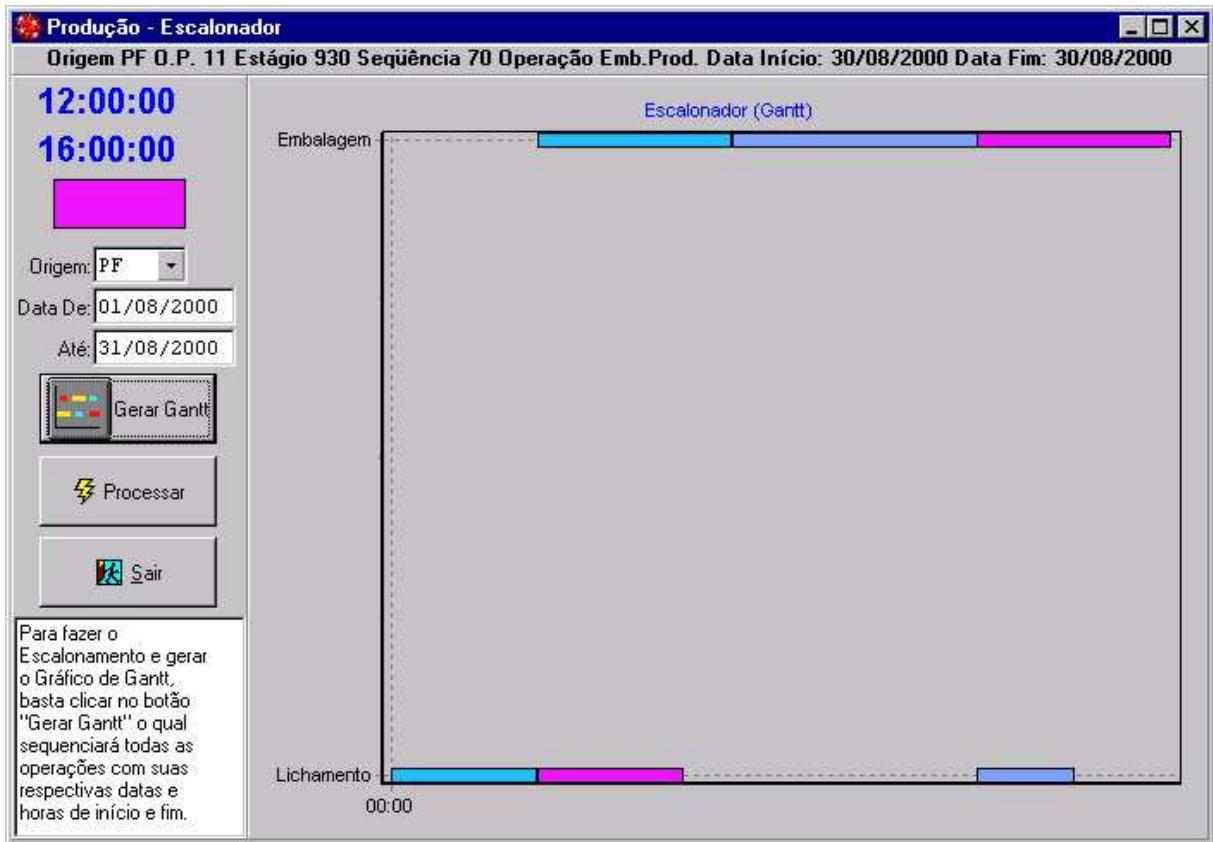
0030 Fermax Ind. Comp. Esq. Ltda **Data/Hora de Início e Fim das Operações** Página: 1

Origem	O.P.	Estágio	Seq.	Operação	Abreviatura	Tempo	U. M.	Tempo	Data Início	Hora	Data Fim	Hora	Prioridade
Recurso: PR4602			Abreviatura: Lichamento		Descrição: Lichamento								
PF	9	930	50	PAR001	Parafusar	180,0000	Minutos		30/08/2000	00:00	30/08/2000	03:00	0
PF	11	930	50	PAR001	Parafusar	180,0000	Minutos		30/08/2000	03:00	30/08/2000	06:00	0
PF	10	930	80	PAR001	Parafusar	120,0000	Minutos		30/08/2000	12:00	30/08/2000	14:00	0
Total de Operações no Recurso: 3													
Recurso: PR4608			Abreviatura: Embalagem		Descrição: Embalagem								
PF	9	930	70	EMB001	EmbProd.	240,0000	Minutos		30/08/2000	03:00	30/08/2000	07:00	0
PF	10	930	70	EMB001	EmbProd.	300,0000	Minutos		30/08/2000	07:00	30/08/2000	12:00	0
PF	11	930	70	EMB001	EmbProd.	240,0000	Minutos		30/08/2000	12:00	30/08/2000	16:00	0
Total de Operações no Recurso: 3													
Total Geral de Operações no(s) Recurso(s): 6													

Consegue-se notar que o problema acima solucionado, corresponde aos mesmos horários apresentados no capítulo 3, na página 63, onde conseguiu-se atingir um escalonamento de boa qualidade conforme ilustrado na página 64, porém, não de ótima como foi demonstrado na página 65.

O resultado final desse escalonamento é mostrado em um gráfico de Gantt, para o qual foi utilizado o componente Tchart do ambiente de programação Delphi, no qual esse componente possui uma série específica para demonstração de gráficos de tarefas sequenciais como no caso deste trabalho, conforme é demonstrado na figura 26:

Figura 26 - Demonstração de OP escalonadas no gráfico de Gantt



Quando o usuário entrar nessa tela, basta ele clicar no botão “Gerar Gantt” e o escalonamento é efetuado e a tela é montada com todas as OP e suas respectivas operações são sequenciadas, assim como também, se o usuário optar por confirmar o escalonamento que acabou de ser feito, basta ele clicar no botão “Processar” e as respectivas entidades com seus atributos serão atualizados na base de dados fixando assim as datas e horas de início de todas as tarefas da empresa. No gráfico, o eixo x corresponde a todos os recursos, enquanto que o eixo y é a régua com os horários a serem efetuados as operações nos recursos. Cada retângulo no gráfico corresponde a uma operação e cada cor identifica que é uma OP diferente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Normalmente as empresas enfrentam diariamente dificuldades na programação de sua produção, devido a uma quantidade de informações que são utilizadas no planejamento da produção de seus produtos, causando assim um problema para o setor de PCP.

Sendo assim, é importante que a organização tenha a ajuda de um sistema de planejamento para auxiliar o setor de PCP a não cometer erros de programação, ou pelo menos minimizá-los, assim como também programar as suas atividades da melhor forma para atingir um nível de eficiência aceitável dentro dos recursos disponíveis e desta forma conseguir atender aos pedidos em suas respectivas datas de entrega.

O uso de uma ferramenta como o escalonador, implica em um aumento de responsabilidade das fontes de informação sobre as quais o sistema fará suas projeções e programações. A confiabilidade destes indicadores é importante e seus responsáveis precisam estar conscientes disso e envolvidos no processo, pois deles depende o resultado final do sistema, daí a importância do estudo detalhado das técnicas de produção existentes.

Uma organização que deseja contar com um escalonador, precisa estar seguro que possui em mãos uma ferramenta eficiente e confiável. Com o desenvolvimento das tecnologias computacionais, surge a simulação, que se não é a única, pelo menos é a mais importante ferramenta de análise de sistemas produtivos complexos. Segundo [RAM1998], a grande vantagem da simulação é que permite simular o desempenho de um sistema produtivo antes de implementá-lo, com um custo baixo e com grande eficiência. A simulação atualmente dispõe-se da animação, que nos permite visualizar na tela o desempenho do modelo desenvolvido, fornecendo informações que não obteríamos com nenhuma outra técnica de análise (seja ela estatística ou analítica).

Um trabalho usando a técnica AG exige provavelmente mais tempo gasto em estudos de comportamentos, testes, recolha de resultados, composição de indivíduos, cromossomos e genes, evolução das populações, variação de operadores ou a combinação de todas estas situações, do que a sua própria implementação. Este é, com certeza, o motivo da não possibilidade de conclusão de todos os objetivos previamente traçados (por exemplo, o

escalonamento sendo feito totalmente via AG), onde agora tem-se a absoluta certeza que se tratando de um problema dessa complexidade, é necessário um estudo de anos e não simplesmente de meses.

Partia-se do princípio de que AG fosse uma técnica que traria maior facilidade na implementação de um escalonador para sequenciamento das tarefas, mas na verdade, chegou-se a conclusão de que é uma maneira possível para chegar aos objetivos de um escalonador. Isto porque utilizando uma técnica de programação tradicional, poderíamos dizer que é na melhor das hipóteses, extremamente complicado. No entanto, a utilização de AG é talvez apenas uma maneira possível e eficaz de fazer este escalonamento se tornar uma realidade, já que na verdade, exige muito estudo e teste como qualquer técnica de programação que se venha a utilizar.

Enfim, sabe-se que através da técnica de Inteligência Artificial AG, é possível criar um escalonador para programação da produção, até porque, mesmo que não totalmente concluído, já foi possível ver horizontes claros de onde deseja-se chegar.

6.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

A principal dificuldade está relacionada com a não distribuição de conhecimentos na área da programação da produção no que tange a técnicas utilizadas para atingir o sucesso dessa magnífica arma competitiva, onde quem desenvolve algo nesse sentido e consegue atingir os objetivos, guarda isso a “sete chaves”.

6.3 SUGESTÕES

Sugere-se que, além da continuidade do desenvolvimento da implementação do AG, seja realizado o estudo de outras técnicas para escalonamento das OP, por exemplo, agrupando todos os produtos por família, para dessa forma reduzir o tempo de preparação de um recurso, assim como também, tentar diminuir o tempo de ociosidade de um recurso.

ANEXO 1

Este anexo contém o MER lógico, o MER físico e o Dicionário de Dados do Sistema Sapiens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ANT1989] ANTUNES, J., NETO, F., FENSTERSEIFER, J.. **Considerações críticas sobre a evolução das filosofias de administração de produção: do just in case ao just in time.** São Paulo, v.29, n.3, p.49-64, julho / setembro,1989.
- [BER1991] BERMUDES, J.. **Using MRP System to implement JIT in continuous improvement effort.** Industrial Engineering, vol. 23, n.11, November, 1991.
- [BOS1988] BOSE, G., RAO, A.. **Implementing JIT with MRPII creates hybrid manufacturing environment.** Industrial Engineering, v.20, n.9, p.49-53, September 1988.
- [CAR2000] CARVALHO, André Ponce de Leon F. de. **Algoritmos Genéticos.** 2000.
Endereço Eletrônico: <http://www.icmsc.sc.usp.br/~andre/genel.html>.
- [COR1996] CORRÊA, Henrique L., GIANESI, Irineu G. N.. **Just in time, MRP II e OPT.** São Paulo : Atlas S.A., 1996.
- [DAV1987] DAVIS, Lawrence. **Genetic algorithms and simulated Annealing.** Cambridge-Massachusetts : Morgan Kaufmann, 1987.
- [GEL1985] GELDERS, L.F. & WASSENHOVE, L.N.. **Capacity Planning in MRP, JIT and OPT: a critique.** Engineering Costs and Production Economics, vol.9,p.210-209, 1985.
- [GOL1989] GOLDBERG, David E. **Genetic algorithms in search, optimization. and machine learning.** Massachusetts-USA : Addison Wesley publishers Company, 1989.
- [GUP1990] GUPTA, U., GIETZ, W. **Guia do programador em SQL.** Rio de Janeiro : Campus, 1990.

- [HEI1994] HEIN, Nelson. **Otimização global determinística – um algoritmo.** Florianópolis, 1994. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.
- [JUN1999] JUNIOR, José Mazzucco. **Uma abordagem híbrida do problema da programação da produção através dos algoritmos simulated annealing e genético.** 1999. Endereço Eletrônico: <http://www.eps.ufsc.br/teses99/mazzucco/index.html>.
- [LUB1989] LUBBEN, R. T.. **Just in time : uma estratégia avançada de produção.** São Paulo, 1989.
- [NEW1985] NEWCOMER, Lawrence R.. **Cobol Estruturado.** São Paulo : McGraw-Hill, 1985.
- [RAM1998] RAMOS, Aureo Nereu. **A manufatura sincronizada como solução para maior competitividade.** Blumenau : Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Nível de Especialização em Administração Industrial, promovido pela Universidade Regional de Blumenau - FURB, 1998.
- [RES1992] REZENDE, Maria Lúcia Alencar de. **PCP básico na indústria têxtil.** Rio de Janeiro : SENAI/CETIQT, 1992.
- [RUS1995] RUSSOMANO, Victor Henrique. **Planejamento e controle da produção.** São Paulo : Pioneira, 1995.
- [SKI1969] SKINNER, W.. **Manufacturing-missing link in corporate strategy.** Harvard Business Review p. 136-145, May-June, 1969.
- [SPE1986] SPENCER, M.S.. **Using “the goal” in an MRP system.** Harvard Business Review, July-August, p.55-59, 1986.
- [VOL1998] VOLKMANN, Eduardo Augusto. **Um protótipo para auxiliar a programação de produção para indústrias têxteis.** Blumenau, 1998. TCC (Bacharelado em Ciências da Computação) Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau.

[WHE1984] WHEELWRIGHT, S. C.. **Manufacturing strategy: defining the link.**
Management Journal vol. 5, p. 77-91, 1969.