

**DAS** Departamento de Automação e Sistemas  
**CTC** Centro Tecnológico  
**UFSC** Universidade Federal de Santa Catarina

## **Projeto e Simulação de Sistemas de Manufatura**

*Monografia submetida à Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito para a aprovação da disciplina:*

***EEL 5901: Projeto de Fim de Curso***

***Cesar Henrique Ferreira Amendola***

*Florianópolis, Maio de 1999*

# **Projeto e Simulação de Sistemas de Manufatura**

***Cesar Henrique Ferreira Amendola***

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina  
**EEL 5901: Projeto de Fim de Curso**  
e aprovada na sua forma final pelo  
**Curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial**

Banca Examinadora:

Christian Kahlhofer  
Orientador Embraco

José Eduardo Ribeiro Cury  
Orientador do Curso

Prof. Augusto Humberto Bruciapaglia  
Responsável pela disciplina e Coordenador do Curso

Prof. Ricardo Rabelo, Avaliador

André Dias de Oliveira, Debatedor

Carlos Aurélio Pezzotta, Debatedor

## **Agradecimentos**

Agradeço aos meus pais, Cesar Augusto Leite Amendola e Clarice Ferreira Amendola pelo esforço e zelo que permitiram a conclusão deste curso.

Agradeço a Luciana Imamura, por estar ao meu lado em todos os momentos desta caminhada.

Agradeço a Christian Kahlhofer, pelos preciosos ensinamentos que proporcionaram este trabalho.

Agradeço aos professores desta instituição, pelos ensinamentos transmitidos.

Agradeço a Deus, por tudo.

Cesar Henrique F. Amendola

## **Resumo**

No mundo competitivo e globalizado, as empresas buscam através da automação, primeiramente reduzir custos e por sua vez, aumentar a sua competitividade no mercado. Quando comparado com operações manuais, os benefícios diretos obtidos são: redução do custo unitário; qualidade mais consistente e maior capacidade produtiva. Quando se pensa em investir capital para realizar a automação deve-se ter certeza que o sistema projetado irá atingir os objetivos especificados.

A simulação apresenta-se como uma ferramenta poderosa no auxílio a tomada de decisão, com a flexibilidade de se testar diversas condições de operação para se obter o melhor resultado.

Este trabalho tem dois objetivos distintos. O primeiro, de apresentar um modelo de simulação que visa otimizar uma linha de produção de componentes de compressores. O segundo visa compor uma proposta de automatização do transporte de compressores entre a produção e a expedição de compressores da Embraco.

## **Abstract**

In the competitive, the companies look for the automation, primarily to reduce costs and thereby improve their competitive position in the market. When compared with manual operations, the obtained direct benefits are: reduction of the unitary cost; more consistent quality and larger productive capacity. When thinking in investing capital to accomplish the automation, we must be sure that the projected system will reach the specified objectives.

The simulation comes as a powerful tool in the aid the taking of decision, with the flexibility of testing several operation conditions to obtain the best result.

This work has two different objectives. The first, of presenting a simulation model that seeks to optimiser a line of production of components of compressors. The second seeks to compose a proposal of automation of the transport of compressors between the production and the expedition of compressors of Embraco.

# Sumário

Resumo e Abstract .....	4
Sumário.....	5
Capítulo 1: Introdução .....	7
Capítulo 2: Simulação da Manufatura .....	11
2.1. A natureza da simulação .....	11
2.2. Sistemas, modelos e simulação .....	12
2.3. Simulação a eventos discretos.....	17
2.4. Mecanismos de Avanço no Tempo.....	17
2.5. Componentes e Organização de um Modelo de Simulação.....	19
2.6. Etapas do estudo de sistemas de simulação .....	20
2.7. Software de Simulação .....	23
2.8. Características desejáveis de um software de simulação.....	24
2.9. Simulação de Sistemas de Manufatura .....	27
2.9.1. Objetivos da simulação na Manufatura .....	27
2.10. Software de Simulação para Aplicações em Manufatura .....	30
2.11. Introdução ao AutoMod .....	30
2.11.1. Simulador .....	31
2.11.2. Construindo um Modelo .....	31
2.11.3. Desenvolvendo Sistemas de Movimentação .....	32
2.11.4. Desenvolvendo o Sistema de Processos .....	32
2.11.5. Executando o modelo .....	33
2.11.6. Analizando o modelo .....	33
2.11.7. Passos para a construção de um modelo .....	34
2.11.8. Ambientes de Desenvolvimento .....	34
2.11.9. Principais elementos do AutoMod.....	36
2.12. Conclusão.....	39
Capítulo 3: Apresentação do Problema .....	41
3.1. Introdução .....	41
3.2. Descrição do problema.....	41
3.3. Descrição do Modelo .....	44
3.4. Implementação .....	47
3.5. Modelando Sistemas Aleatórios.....	50
3.5.1. Fontes de aleatoriedade .....	50
3.5.2. Tempo de Queda de Máquinas .....	53
3.5.3. Distribuição da Linha Transfer .....	57
3.6. Resultados .....	63
3.7. Conclusão.....	67
Capítulo 4: Manipulação de Materiais .....	69
4.1. Introdução .....	69
4.2. Conceitos de modernos de manipulação de materiais .....	70
4.2.1. Um problema simples de manipulação de materiais.....	70
4.2.2. A logística de um sistema na movimentação de materiais.....	72
4.2.3. Estratégias de Manipulação de Materiais .....	75
4.2.4. Controlando o fluxo de materiais.....	75
4.3. Dispositivos para manipulação de materiais .....	77
4.3.1. Esteiras .....	77
4.3.2. Sistemas de transportes de materiais suspensos .....	77
4.4. Veículos de transporte de materiais .....	82
4.4.1. Sistemas de Veículos Guiados Automaticamente - AGVS.....	82

4.4.2.	Sistema de direção híbrido.....	84
4.4.3.	Construção Modular.....	84
4.4.4.	Planejamento e Simulação.....	84
4.4.5.	A Trajetória.....	85
4.4.6.	Sistema de Controle.....	86
4.4.7.	Sistema de controle dos veículos.....	86
4.4.8.	Sistemas de Navegação.....	87
4.4.9.	Rota Ativa.....	87
4.4.10.	Rota Passiva.....	87
4.4.11.	Rota Virtual (Navegação LASER).....	87
4.4.12.	Comunicação.....	88
4.4.13.	Baterias (Tipos).....	88
4.4.14.	Movimentação de Cargas.....	89
4.4.15.	Aplicações.....	89
4.5.	Sistemas de Armazenamento.....	90
4.6.	Conclusão.....	92

Capítulo 5: Proposta de Implantação de um Sistema de Transporte e de Alteração na Área de Armazenamento e Expedição da Embraco.....	93
5.1. Introdução.....	93
5.2. Descrição do sistema atual.....	93
5.3. Descrição das alternativas.....	95
5.3.1. Paletização.....	95
5.3.2. Arqueamento.....	96
5.3.3. Transporte entre a montagem final e a Difipro.....	97
5.3.4. Recepção dos compressores na Difipro.....	99
5.3.5. Armazenagem.....	99
5.3.6. Movimentação.....	99
5.3.7. Embalagens e Paletes.....	99
5.4. Proposta de automação para o sistema de movimentação e armazenagem.....	100
5.4.1. O transportador aéreo.....	102
5.4.2. O sistema transelevador.....	104
5.5. Análise de custos.....	104
5.5.1. Montagem Final.....	105
5.5.2. Difipro.....	107
5.5.3. Investimento em equipamentos.....	110
5.5.4. Totalização dos Custos.....	110
5.6. Conclusões e perspectivas.....	111
Capítulo 6 - Bibliografia.....	114

## Capítulo 1: Introdução

A globalização está cada vez mais evidente no mercado internacional, principalmente no mercado brasileiro que representa um mercado emergente em potencial. As empresas estão sendo obrigadas a mudar a concepção de sua área industrial, visando sempre o aumento da capacidade produtiva aliada a uma redução de custos e na busca por melhores padrões de qualidade. Entre os principais procedimentos tomados para tal estão: reorganização e racionalização dos processos e leiautes e aplicação de sistemas automatizados tanto na linha produtiva como no transporte e na movimentação de materiais.

A situação econômica dos países desenvolvidos se destaca perante os outros países. Comparado aos demais, evoluíram muito rapidamente tendo como base o incentivo - investimento - e o aproveitamento da tecnologia em prol de uma vida social com melhores condições. Com a tecnologia pode-se fazer um melhor aproveitamento dos recursos materiais e humanos, que até então eram utilizados de maneira empírica, não tendo fundamento científico.

Como decorrência do aumento do nível tecnológico, o setor produtivo sofreu drásticas mudanças na forma de conceber, produzir e colocar os produtos no mercado. Para ser competitivo tem-se a necessidade de produzir com menor custo e com alta qualidade, e isso só é possível se tiver uma utilização racional dos recursos que compõe o sistema de manufatura, evidenciando cada vez mais a utilização de máquinas automatizadas e da informática.

A automação industrial surge, neste final de século, como resultado de uma evolução, cujo início seria difícil precisar. Da ferramenta mais rudimentar, entendida como extensão do braço do homem, à máquina inteligente, vista como extensão da sua cabeça, foi necessária a apropriação de conhecimentos e de experiências acumuladas em muitos séculos.

Na manufatura somente a automação não é responsável pelo desenvolvimento econômico-social da organização, também é necessária a limpeza e respeito ao meio ambiente e ao trabalhador.

Mudanças tecnológicas em manufatura é inseparável das pessoas, que são uma parte necessária, mesmo se decrescente, do processo manufatureiro e muitas de nossas dificuldades atuais foram causadas por considerar mudanças à mecânica do processo ignorando as pessoas que são responsáveis pela execução do trabalho.

Quanto aos impactos das novas tecnologias de automação sobre o emprego e qualificação, deve repetir-se a polarização verificada nos debates quanto as vantagens e desvantagens da mecanização e da automação eletromecânica. De um lado, os otimistas argumentam que as novas tecnologias de automação poderão aumentar o emprego, democratizar o consumo com maior quantidade de produtos a preços mais acessíveis, resultando numa melhoria geral de qualidade de vida; do outro, os pessimistas advertem contra o maciço desemprego e a degradação do trabalho. Indiferentemente às opiniões, a automação está sendo adotada e produzindo reflexos em amplos setores da sociedade.

A automação deve ser aplicada para substituir o trabalho manual sempre que máquinas e equipamentos possam aumentar a rentabilidade de curto e longo prazo. Deve-se salientar que os computadores vieram para ajudar a controlar melhor e mais rapidamente o fluxo de informações geradas pelo sistema de manufatura.

Os trabalhos aqui apresentados foram realizados durante o período de estágio na Empresa Brasileira de Compressores – Embraco, em Joinville – SC, compreendidos entre 19/10/1998 à 19/04/1999.

Esse trabalho está dividido em duas partes principais.

A primeira parte trata sobre simulação da manufatura.

Atualmente, os sistemas de manufatura necessitam de melhores informações e de ferramentas para acompanhar as constantes mudanças do mercado e da fábrica. A competitividade na indústria de manufatura para alcançar custos mais baixos com um aumento da qualidade requer uma

capacidade operacional de tomada de decisão oportuna e confiável numa base contínua.

A simulação é uma ferramenta computacional que provê soluções para o projeto, análise e operação de sistemas complexos de manufatura, armazenagem e de manuseio de materiais e que está sendo rapidamente integrada no processo de trabalho industrial. Aproximadamente 60% das grandes empresas mundiais com mais de 1 bilhão de dólares de faturamento anual fazem uso da simulação para checar a viabilidade de projetos propostos. Porém em empresas menores, o número de usuários cai para menos de 6%. Nos dias de hoje, com a ajuda de computadores mais potentes que permitem executar a simulação de qualquer sistema de manufatura em um PC, espera-se um aumento desse percentual para um futuro próximo. No Brasil, a simulação ainda é pouco divulgada, porém muitas empresas do nível "World Class" em manufatura já utilizam-a. O mundo está se tornando globalizado, o que força as empresas a se tornarem mais eficientes e competitivas. Para isso, os fabricantes têm que pensar com muito cuidado sobre eventuais mudanças do projeto de seus sistemas para que os mesmos sejam mais precisos e produtivos. Atualmente é quase impossível trabalhar com estruturas complexas e não utilizar a simulação para esclarecer questionamentos sobre o sistema atual ou futuro.

A simulação é uma representação computacional de sistemas do mundo real, como uma fábrica, porto ou fast-food. Devido a experiências com sistemas reais serem caras e geralmente impossíveis, um modelo de simulação computacional proporciona um ambiente onde idéias podem ser testadas antes de serem implementadas. A vantagem da simulação é a possibilidade de se realizar análises do tipo "o que - se" e determinar o comportamento do sistema existente ou proposto sob diferentes condições de operação antes de se tomar qualquer decisão. Entretanto para se obter resultados válidos e confiáveis, deve-se fazer com que o modelo seja tão próximo do sistema real quanto possível, sendo fundamentais para isso, as técnicas utilizadas na coleta de dados e análise do modelo. A chamada metodologia da simulação é totalmente independente do software ou hardware utilizados e possui como barreiras principais o tempo, o custo e grau de experiência do modelista.

Um modelo de simulação foi elaborado para representar o correto funcionamento de uma linha de usinagem de blocos de compressores. O modelo tem por objetivo determinar a quantidade ótima de produto acabado que se deve possuir em estoque para suprir a linha de montagem, assim como determinar a melhor política a ser empregada para garantir um fluxo contínuo de peças para montagem.

A segunda parte deste trabalho diz respeito da elaboração de um proposta de implantação de um sistema de transporte entre as unidades de produção e a área de armazenagem e expedição da Embraco, assim como automatização desta área. Para tal foi necessário o estudo de diversas tecnologias relacionadas com a manipulação de materiais. Nesta proposta foram levados em consideração itens como: viabilidade econômico, o funcionamento dos sistemas empregados.

Esta monografia está subdividida em capítulo que abordam os assuntos relacionados as trabalhos desenvolvidos na empresa.

O capítulo 2 apresenta a simulação como ferramenta para avaliação de sistemas de manufatura. Apresenta ainda o software utilizado para a confecção do modelo.

O capítulo 3 faz uma descrição do sistema a ser simulado, traz uma descrição do modelo de simulação proposto, a obtenção dos resultados e as conclusões sobre o modelo.

No capítulo 4 inicia-se a discussão da segunda parte do trabalho com um descritivo sobre o sistema de manipulação de material e algumas das tecnologias utilizadas para o desenvolvimento da proposta de automatização desenvolvida.

No capítulo 5 apresenta-se a referida proposta e conclui-se o projeto.

## Capítulo 2: Simulação da Manufatura

### 2.1. A natureza da simulação

Simulação é uma ferramenta computacional com a função de imitar, ou simular, as operações de diversos tipos de facilidades ou processos do mundo real. As instalações ou processos de interesse são geralmente chamados de sistema, e de forma a estudá-los cientificamente geralmente temos que admitir uma série de considerações sobre o seu funcionamento. Estas considerações, que tomam forma de relações matemáticas ou lógicas, constituem um modelo o qual é utilizado na tentativa de se obter algum entendimento de como o sistema correspondente funciona.

Se as relações que compõem o modelo são simples o bastante, é possível se utilizar métodos matemáticos para (tal como álgebra, cálculo, ou teoria de probabilidade) para se obter exata informação de questões de interesse; esta é chamada de solução analítica. No entanto, a maioria dos sistemas do mundo real são muito complexos para permitir que modelos realísticos sejam avaliados analiticamente, e estes modelos devem ser estudados através da simulação. Em simulação utilizamos um computador para avaliar um modelo numericamente, e dados são obtidos com a finalidade de estimar as características desejáveis do modelo.

As áreas de aplicação para simulação são numerosas e diversas. Abaixo encontra-se uma lista de alguns tipos particulares de problemas nos quais a simulação pode ser uma ferramenta útil e poderosa:

- Projetar e analisar sistemas de manufatura.
- Avaliar requerimentos de hardware e software para um sistema computacional.
- Avaliar novos sistemas de armas militares ou táticas.
- Determinar políticas de atendimento para um sistema de armazenamento.
- Projetar sistemas de comunicação e mensagens de protocolo.

- Projetar e operar sistemas de meios de transporte tais como estradas, aeroportos, metros e portos.
- Avaliar projetos de organização de serviço tais como hospitais, correios ou restaurantes.

Existem no entanto diversos impedimentos que entram a aceitação e utilização da simulação. Primeiro, modelos utilizados para estudar sistemas de larga escala tendem a ser muito complexos, e escrever programas de computador pode ser uma tarefa árdua. Esta tarefa tem sido facilitada pelo desenvolvimento de softwares que automaticamente fornecem muitos dos elementos necessários para codificar um modelo de simulação. Um segundo problema com simulação de sistemas complexos é a requisição de um elevado tempo computacional para executar o modelo. No entanto, esta dificuldade vem ficando menor com a contínua queda do custo computacional. Finalmente, existe a impressão que a simulação é somente um exercício de programação, conseqüentemente, muitos estudos de simulação tem sido compostos de modelos heurísticos, codificação e uma simples execução do programa para se obter resultados. Teme-se que esta atitude, que negligencia a importante característica de como um modelo codificado propriamente deve ser utilizado para se fazer inferências sobre o sistema de interesse, tenha levado a conclusões erradas sendo utilizadas por estudos em simulação.

## **2.2. Sistemas, modelos e simulação**

Um sistema é definido como sendo uma coleção de entidades, como pessoas ou máquinas, que agem e interagem entre si visando um fim lógico. Na prática, o que é classificado como sistema depende do objetivo do estudo. A coleção de entidades que compõe o sistema para um estudo pode ser somente um subconjunto do sistema utilizado em outro conjunto.

O estado de um sistema é a coleção das variáveis necessárias para representar o sistema em um instante particular, de acordo com os objetivos do estudo. Essas variáveis são chamadas variáveis de estado.

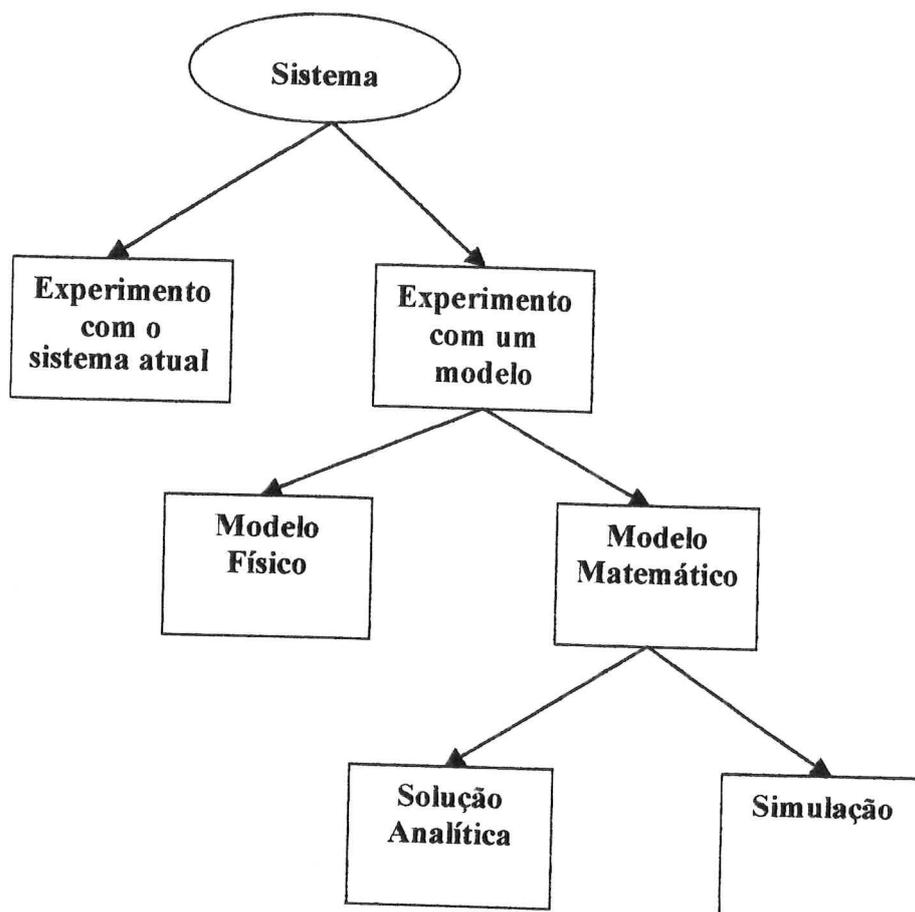
Os sistemas são classificados em duas categorias, discreto e contínuo.

Um sistema discreto é aquele onde as variáveis de estado mudam instantaneamente em pontos isolados no tempo. Um banco é um exemplo de sistema discreto pois a variável de estado, o número de clientes no banco, muda apenas quando um cliente entra ou é atendido e parte.

Um sistema contínuo é aquele onde as variáveis de estado mudam continuamente no tempo. Um avião se movendo no ar é um exemplo de sistema contínuo pois as variáveis de estado como velocidade e posição podem variar continuamente ao longo do tempo.

Poucos sistemas na prática são completamente contínuos ou discretos, mas desde que um tipo de variação predomine é possível classifica-los como contínuos ou discretos.

Em algum ponto da vida da maioria dos sistemas, existe a necessidade de estudá-los na tentativa de se obter maior sensibilidade quanto ao relacionamento entre componentes, ou para prever a performance de sobre novas condições sendo considerada. A figura 2.1 representa as diversas formas em que um sistema pode ser estudado.



**Figura 2.1 - Maneiras de se estudar um sistema**

- *Experimentação com o sistema atual vs. Experimentação com um modelo do sistema:* Se é possível e economicamente viável alterar o sistema fisicamente e deixá-lo operar sob novas condições, é desejável fazê-lo, pois neste caso não haveriam dúvidas sobre os resultados. No entanto, é raramente viável se fazer tal experimento, pois em geral seria muito dispendioso ou muito perturbador para o sistema. O sistema pode até não existir, contudo deseja-se estudá-lo em diversas alternativas de configuração para se avaliar com deverá ser construído; exemplos desta situação podem ser instalações de manufatura modernas e flexíveis, ou sistemas de armas nucleares. Por estes motivos, é geralmente necessário construir um modelo como uma representação do sistema e estudá-lo como um substituto para o sistema atual.

- *Modelo Físico vs. Modelo Matemático:* Os modelos físicos, como por exemplo, carros de argila em túneis de vento, não são os tipos de modelo de interesse para a análise de sistemas. Ocasionalmente tem se achado útil construir modelos físicos para se estudar engenharia ou sistemas de gerenciamento. A grande maioria dos modelos para estes propósitos são matemáticos, representando um sistema em termos de lógica e relações quantitativas que são então manipuladas e modificadas para se analisar o reação do modelo.
- *Solução Analítica vs. Simulação:* Uma vez determinado o modelo matemático, deve-se examiná-lo para ver como pode ser utilizado para responder as questões de interesse sobre o sistema que ele representa. Se o modelo for simples o bastante, é possível trabalhar com suas relações e quantidades para se obter uma solução analítica exata. Mas algumas soluções analíticas podem se tornar extremamente complexas, requerendo grandes recursos computacionais. Se uma solução analítica para um modelo matemático está disponível e é computacionalmente eficiente, é preferível estudar o modelo desta forma a utilizar simulação. No entanto, muitos sistemas são altamente complexos, então um modelo matemático válido também são complexos, tornando uma solução analítica pouco viável. Neste caso, o modelo deve ser estudado com o uso da simulação, ou seja, alterando numericamente as entradas do modelo para verificar como afetam as medidas de desempenho na saída.

A complexidade dos sistemas atuais, como os sistemas de manufatura, e a necessidade de representá-los de uma forma válida esta levado a utilizar a simulação em muitas situações. Dado que se possui um modelo matemático a ser estudado por simulação, deve-se procurar por ferramentas para realizá-lo. É útil para estes propósitos classificar os modelos de simulação em três diferentes formas:

- *Modelos de Simulação estáticos vs. Dinâmicos:* Um modelo de simulação estático é a representação de um sistema em um instante de tempo específico, ou então pode ser usado para representar um sistema onde o tempo não é elemento relevante. Um modelo dinâmico representa a evolução de um sistema no tempo, como o sistema de esteiras em uma fábrica.
- *Modelos Determinísticos vs. Estocásticos:* Se um modelo de simulação não contém elementos probabilísticos (aleatórios), é chamado determinístico. Neste modelo a saída é determinada uma vez que o conjunto de entradas quantitativas e os relacionamentos do modelo tenham sido especificados. Porém, muitos sistemas devem ser modelados contendo pelo ou menos alguma entrada aleatória, tornando o modelo estocástico. Modelos de simulação estocásticos produzem saídas aleatórias e por isso devem ser tratados como apenas uma estimativa das verdadeiras características do modelo.
- *Modelos contínuos vs. Discretos:* Um modelo de simulação contínuo representa um sistema no qual as variáveis de estado mudam continuamente no tempo, enquanto um modelo de simulação discreto é aquele onde as variáveis de estado mudam instantaneamente em pontos isolados no tempo. Deve-se mencionar que um modelo discreto não é sempre utilizado para modelar um sistema discreto e vice-versa. A decisão de se utilizar um modelo discreto ou contínuo para um sistema em particular depende dos objetivos do estudo. Por exemplo, um modelo de fluxo de carros em uma estrada pode ser discreto se as características e o movimento de carros individualmente são importantes. Da mesma forma, se os carros forem tratados como um agragado, o fluxo do tráfego pode ser descrito por equações diferenciais em um modelo de simulação contínuo.

O modelo de simulação apresentado no decorrer deste trabalho é discreto, dinâmico e estocástico e portanto será denominado de modelo de simulação a eventos discretos.

### **2.3. Simulação a eventos discretos**

Simulação de eventos discretos trata sobre a modelagem de um sistema, a medida que o tempo transcorre, por uma representação na qual o estado das variáveis pode mudar somente em números contáveis de pontos no tempo. Estes pontos no tempo são os pontos onde os eventos ocorrem, onde um evento é definido como uma ocorrência instantânea que pode mudar o estado do sistema. Em alguns modelos de simulação eventos são utilizados com propósitos de não produzirem tais mudanças. Como exemplo, um evento pode ser utilizado para agendar o fim da simulação em um tempo particular ou para agendar uma decisão sobre a operação de um sistema em um instante específico e que não resulte em uma mudança de estado do sistema.

### **2.4. Mecanismos de Avanço no Tempo**

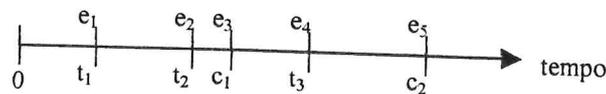
Por causa da natureza dinâmica de modelos de simulação a eventos discretos, devemos acompanhar o tempo atual de simulação a medida que avança no tempo e precisamos também de um mecanismo que avance o tempo de simulação de um valor para outro a cada ocorrência de um evento. A variável em simulação que fornece o valor corrente de tempo é chamada de relógio ou *clock*. Não há necessariamente uma relação entre o tempo simulado e o tempo necessário para executar uma simulação no computador.

Historicamente, duas abordagens principais foram sugeridas para avançar o *clock* de simulação: *avanço de tempo pelo próximo evento* e *avanço de tempo por incremento fixo*. A primeira abordagem é utilizada pela maioria das linguagens de simulação e a segunda é um caso especial da primeira, deve-se utilizar a

abordagem de avanço de tempo pelo próximo evento para o modelo de simulação a eventos discretos que será apresentado neste trabalho.

Nesta abordagem, o *clock* de simulação é inicializado em zero e tempo de ocorrência de eventos futuros são determinados. O *clock* de simulação é incrementado para o tempo de ocorrência do *evento mais iminente* destes eventos futuros, ao ponto no qual o estado do sistema é atualizado devido a ocorrência de um evento, e o conhecimento dos tempos de ocorrência de eventos futuros é também atualizado. Então o *clock* de simulação é avançado ao tempo do (novo) evento mais iminente, o estado do sistema é atualizado, e o tempo dos eventos futuros são determinados, etc. Esse processo de avanço do *clock* de simulação do tempo de um evento para outro é executado até que alguma condição especificada de parada seja satisfeita. Desde que todas as mudanças de estados ocorrem somente em tempos onde há a ocorrência de um evento, para um modelo a eventos discretos os períodos de inatividade são ignorados, atualizando o relógio tempo de evento em tempo de evento.

A linha de tempo representada na figura 2.2 mostra o funcionamento do avanço de tempo pelo próximo evento. Trata-se de um sistema de fila com único servidor, onde os eventos são as chegadas de clientes ( $t_1, t_2, t_3$ ) e a saída dos mesmos ( $c_1, c_2$ ). O primeiro evento  $e_1$  ocorre com a chegada de um cliente em  $t_1$ . Como o tempo de chegada de outro cliente,  $t_2$ , é menor que o tempo de atendimento do primeiro ( $c_1 - t_1$ ), o *clock* de simulação é avançado até o evento chegada do segundo cliente,  $e_2$  e assim sucessivamente.



**Figura 2.2 – Mecanismo de avanço de tempo pelo próximo evento**

## 2.5. Componentes e Organização de um Modelo de Simulação

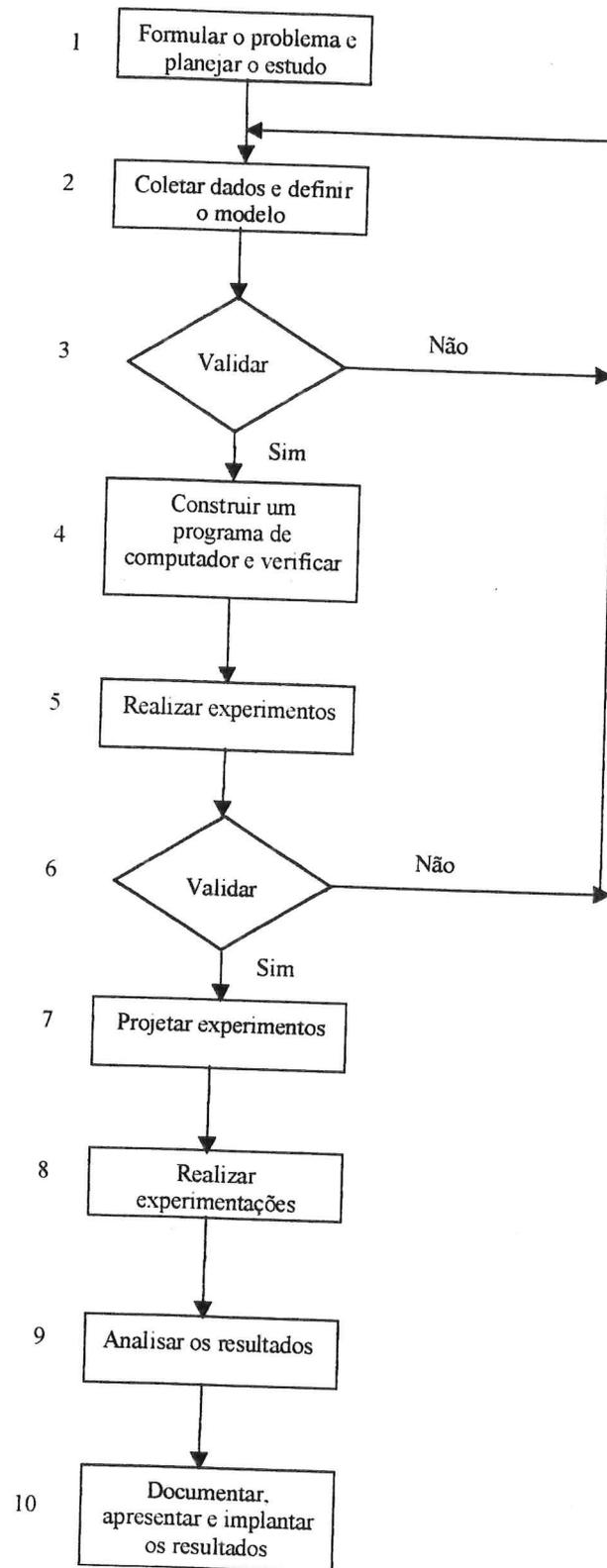
Embora a simulação venha sendo aplicada a uma grande variedade de sistema do mundo real, todos os modelos de simulação a eventos discretos compartilham um número de elementos comuns e existe uma organização lógica para estes componentes que proporcionam a codificação, depuração e futuras mudanças no programa que representa o modelo. Em particular, os seguintes componentes serão encontrados na maioria dos modelos de simulação que utilizam o avanço de tempo pelo próximo evento.

- *Estado do Sistema*: Coleção de variáveis de estado necessárias para descrever o sistema em um instante particular.
- *Clock de Simulação*: Uma variável que fornece o valor corrente do tempo de simulação.
- *Lista de Eventos*: Uma lista contendo o próximo tempo quando cada tipo de evento deverá ocorrer.
- *Contadores Estatísticos*: Variáveis utilizadas para armazenar informações estatísticas sobre a performance do sistema.
- *Rotina de Inicialização*: Um subprograma para inicializar o modelo de simulação no tempo zero.
- *Rotina de Tempo*: Um subprograma que determina o próximo evento da lista de eventos que incrementa o relógio da simulação até o tempo em que este evento ocorrerá.
- *Rotina de Eventos*: Um subprograma que atualiza os estados do sistema quando um tipo particular de evento ocorre (existe uma rotina para cada tipo de evento).
- *Rotinas de Bibliotecas*: Um conjunto de subprogramas utilizados para gerar observações aleatórias de distribuições que foram determinadas como parte do modelo de simulação.

- *Gerador de Relatórios*: Um subprograma que calcula estimativas (dos contadores estatísticos) de medidas desejadas de performance e produz um relatório ao final da simulação.
- *Programa principal*: Um subprograma que chama a rotina de tempo para determinar o próximo evento e as transferências de controle para a rotina de eventos correspondente, a fim de atualizar o estado do sistema apropriadamente. O programa principal pode também verificar o final da simulação e chamar o gerador de relatórios quando do fim da simulação.

## **2.6. Etapas do estudo de sistemas de simulação**

A figura 2.3 representa as etapas que irão compor um típico estudo de simulação e a relação entre eles. O número ao lado de cada símbolo representa cada etapa que será detalhada. Nem todos os estudos irão necessariamente conter todos estes passos e na ordem apresentada. Mais do que isso, o estudo da simulação não é um simples processo seqüencial.



**Figura 2.3 - Etapas do estudo de simulação**

1. **Formulação do problema e planejamento do estudo:** Todo estudo deve começar com uma descrição clara do problema, seus objetivos e características específicas. O estudo como um todo deve ser planejado em termos do número de pessoas, o custo e o tempo necessário para cada aspecto do estudo.
2. **Coleta de Dados e Definição do Modelo:** Informações e dados devem ser coletados no sistema de interesse (se ele existe) e utilizado para especificar procedimentos operacionais e distribuições de probabilidade para as variáveis aleatórias utilizadas no modelo.
3. **Validação:** Na construção do modelo é imperativo envolver pessoas que estão familiarizadas com o sistema atual. Isto irá aumentar a validade do modelo e sua credibilidade.
4. **Construção do Programa:** Codificação do modelo para uma linguagem de computador onde uma linguagem de simulação específica irá reduzir de forma significativa o tempo de programação.
5. **Execução do Programa:** Para fins de validação.
6. **Validação:** Este é outro momento em que se pode verificar a validade do modelo, ou seja o quanto os resultados da simulação correspondem ao funcionamento do sistema no mundo real. As execuções são feitas para verificar a sensibilidade da saída do modelo a pequenas variações nos parâmetro de entrada.
7. **Planejando Experimentos:** Para cada sistema a ser simulado, decisões devem ser tomadas para cada questão como condição inicial para execução da simulação, o comprimento do período de aquecimento (warm-up) e o número de simulações independentes (replicações) a serem feitas.

8. **Realizar Experimentações com o Modelo:** Experimentações são feitas com o propósito obtenção de dados de performance do sistema de interesse.
9. **Análise dos Resultados:** Técnicas estatísticas podem ser utilizadas para análise dos resultados. Objetivos típicos são a construção de um intervalo de confiança para a medida de performance de um sistema.
10. **Documentação e Implementação:** Por modelos de simulação serem geralmente utilizados para mais de uma aplicação, é importante documentar as suposições que fazem parte do modelo, assim como o programa de computador. Finalmente, um estudo de simulação cujo os resultados não são implementados pode ser classificado como um fracasso.

## 2.7. Software de Simulação

Um programa de simulação de modelos a eventos discretos deve possuir as seguintes características:

- Gerar números aleatórios, ou seja valores aleatórios de distribuição de probabilidade  $U(0,1)$
- Gerar valores aleatórios provenientes de uma distribuição de probabilidade específica (ex. exponencial)
- Mecanismo de avanço no tempo.
- Determinar o próximo evento da lista de eventos e passar o controle para o bloco de código apropriado.
- Acrescentar ou excluir elementos de uma lista.
- Coletar e analisar dados.
- Gerar relatórios.
- Detectar condições de erros.

Estas e outras características levaram a construção de linguagens de propósitos específicos. Estas linguagens, através da padronização, melhorias contínuas e disponibilização foram os fatores principais no aumento da popularidade da simulação nos últimos anos.

## **2.8. Características desejáveis de um software de simulação.**

Um software de simulação deve apresentar algumas características que estão agrupadas em cinco categorias:

### **1. Características Gerais**

Talvez a característica mais importante que um pacote de simulação deva possuir é a *flexibilidade de modelagem*, pois dois sistemas não são os mesmos. Entidades devem possuir atributos que podem ser modificados apropriadamente; estas capacidades estão disponíveis em linguagens de simulação.

A facilidade de desenvolvimento é outro aspecto importante devido ao curto tempo geralmente atribuído a elaborações de projetos. A acuracidade e a velocidade do modelo serão aumentados com softwares que possuam boas ferramentas de depuração.

Um modelo de execução de alta velocidade é particularmente importante para modelos grandes ou quando os modelos são executados em um microcomputador.

O tamanho máximo do modelo permitido pelo software de simulação pode ser um fator importante quando um modelo é executado em um microcomputador.

Finalmente, em algumas aplicações é conveniente que o software possua capacidade para combinar simulações discretas e contínuas.

### **2. Animação**

Animações fáceis de usar é uma das principais razões para o aumento da popularidade de modelos de simulação. Em uma animação, elementos-chaves do sistema (máquinas) são representadas na tela por ícones que mudam de forma, cor ou posição quando há uma mudança no estado na simulação. Portanto, um sistema pode ser visualizado graficamente durante o tempo. A maioria dos pacotes de simulação operam de forma concorrente, onde animação é mostrada enquanto a simulação está rodando.

A maior razão para a popularidade da animação é a sua habilidade de comunicar a essência do modelo de simulação (ou da própria simulação) a gerentes e outras pessoas-chaves, aumentando a confiabilidade do modelo. Outros potenciais benefícios da simulação são:

- Depuração do programa.
- Mostrar que um modelo de simulação não é válido.
- Sugerir procedimentos operacionais para controlar a lógica para o sistema.
- Entender o comportamento dinâmico de um sistema.
- Treinar pessoas operacionais

Animação possui certas desvantagens, em particular, não é um substituto para uma cuidadosa análise estatística dos dados de saída. Um sistema não pode ser dito como bem definido através da observação da animação por um curto período de tempo.

Existem características desejáveis em um pacote de animação. Primeiro, desde que a animação é uma ferramenta de comunicação, é importante que pareça realístico (principalmente para apresentação para gerentes de nível mais elevado). O usuário deve ser capaz de criar ícones de alta resolução. Os movimentos devem ser suaves e não saltados. Deve ser possível armazenar os ícones em uma biblioteca para utilização em um modelo futuro. Esta biblioteca deve possuir alguns ícones padrões para facilitar a animação do modelo. A animação deve ainda ser fácil de se desenvolver. A utilização de gráficos em uma

apresentação dinâmica onde histogramas, medidores de nível, etc., são atualizados no decorrer da simulação.

### 3. Capacidades Estatísticas

A maioria dos sistemas do mundo real exibem algum tipo de comportamento aleatório, então um pacote de simulação deve conter capacidades estatísticas. Em geral cada fonte de aleatoriedade (como tempo entre chegadas sucessivas, tempos de serviço, tempo de operação de máquinas, etc.) precisam ser modelados por uma distribuição de probabilidade, não somente pela sua média. Um pacote de simulação deve conter uma ampla variedade de distribuições padrão (exemplo, exponencial, gama e triangular), deve ser capaz de conter um gerador de números aleatórios para facilitar as alternativas de projeto. Um software de simulação deve conter um comando único para realizar replicações independentes do modelo automaticamente, cada replicação utilizando diferentes números aleatórios, começando no mesmo estado inicial e apagando os contadores estatísticos. Deve ainda ser capaz de gerar um período de aquecimento (warm up) e construir intervalos de confiança para medidas de performance, de forma a determinar a precisão estatística dos resultados da simulação.

### 4. Suporte ao Usuário

A maioria dos usuários de simulação requerem algum tipo de suporte por parte do fornecedor. Estes devem prover o usuário suporte técnico para problemas de modelagem específicos encontrados pelo usuário. Boa documentação, incluindo manuais com exemplos em abundância. Alguns programas de demonstração são especialmente úteis.

## 5. Relatórios dos Resultados

Um software de simulação deve fornecer relatórios de resultados padrões, assim como deve permitir a construção de relatórios próprios do usuário de forma fácil. É interessante obter gráficos de qualidade para apresentação (histogramas, gráficos de barras, tortas, ou ainda gráficos no decorrer do tempo de variáveis importantes) e ainda ter acesso a observações individuais das saídas do modelo para uma análise mais profunda.

### **2.9. Simulação de Sistemas de Manufatura**

Está ocorrendo um aumento dramático no uso da simulação para projetar e otimizar sistemas de manufatura e armazenamento. Entre as razões para que isso ocorra estão as seguintes:

- O aumento na competição entre várias empresas tem resultado em grande ênfase a automação para melhorar a produtividade e a qualidade e também para reduzir custos. Como sistemas automáticos são mais complexos, eles podem ser tipicamente analisados somente através do uso de simulação.
- Custo computacional tem sido reduzido pelo uso de microcomputadores e estações.
- Melhorias nos softwares de simulação tem reduzido o tempo de desenvolvimento de modelos, permitindo por sua vez, maior tempo para análise da manufatura.
- A disponibilidade da animação tem resultado em maior compreensão e utilização da simulação por gerentes de engenharia.

#### **2.9.1. Objetivos da simulação na Manufatura**

Talvez o maior benefício da utilização da simulação em um ambiente de manufatura seja permitir ao gerente ou engenheiro a obter uma visão ampliada do

sistema no caso de variações locais no sistema de manufatura. Se uma mudança é produzida em uma estação de trabalho qualquer, seu impacto pode ser mensurado. De outra forma seria muito difícil determinar o impacto desta mudança na performance de todo o sistema.

Em adição aos benefícios citados acima, existem um número de vantagens potenciais no uso da simulação para análise de manufatura, incluindo:

- Aumentar o número de peças produzidas por unidade de tempo.
- Reduzir o estoque entre processos.
- Melhorar a utilização de máquinas e trabalhadores.
- Melhorar a entrega de produtos aos consumidores.
- Reduzir a necessidade de capital (áreas, prédios, máquinas, etc.) ou despesas operacionais .
- Garantir que um sistema proposto irá funcionar, de fato, como esperado.
- As informações obtidas para a construção do modelo irão promover a melhor compreensão do sistema.
- Um modelo de simulação de um sistema geralmente proporciona aos engenheiros a pensar sobre certas características importantes (ex. lógica do sistema de controle) de forma mais profunda do que normalmente o fariam.

A simulação tem sido utilizada com sucesso para um certo número de assuntos particulares em manufatura, os quais podemos classificar em três categorias gerais:

1. A necessidade e a quantidade de equipamento e pessoal:
  - Número e tipos de máquinas para um objetivo particular (ex. produção de 1000 peças por semana).
  - Número, tipo e arranjo físico de carro (empilhadeiras e AGV), esteiras e outros equipamentos de suporte.
  - Localização e dimensão dos estoques intermediários.
  - Avaliação da mudança no volume de produção ou da produção de um novo produto.

- Avaliação dos efeitos de uma nova parte em um equipamento (ex. um robô) em uma linha de manufatura existente.
  - Avaliação do investimento de capital.
  - Planejamento do trabalho.
2. Avaliação de Desempenho
- Análise do número de peças produzidas por unidade de tempo (throughput)
  - Análise do tempo em que a peça permanece no sistema (Makespan)
  - Identificação e análise de gargalos
3. Avaliação de Procedimentos Operacionais
- Agendamento da produção, ou seja, avaliar diferentes políticas para enviar ordens para o chão-de-fábrica.
  - Políticas para armazenamento de componentes ou matéria prima.
  - Estratégias de controle (ex. para sistemas de esteiras ou para AGVs).
  - Políticas de controle de qualidade.

Existem diversas medidas de performance que podem ser obtidos do estudo de um sistema de manufatura por simulação, incluindo:

- Análise do número de peças produzidas por unidade de tempo (throughput).
- Análise do tempo em que a peça permanece no sistema (Makespan).
- Tempo de espera em filas.
- Tempo de espera por meios de transporte.
- Tempo de espera em meios de transporte.
- Tempo de entrega.
- Tamanho de estoques em processo.
- Utilização de equipamento e pessoal.
- Quantidade de tempo em que uma máquina está quebrada, ociosa, bloqueada ou em manutenção preventiva.

- Proporção de peças que são retrabalhadas ou descartadas.

## **2.10. Software de Simulação para Aplicações em Manufatura**

Os requisitos dos softwares de simulação para aplicações em manufatura não são diferentes de outras aplicações, com uma exceção. A maioria das facilidades modernas de manufatura contém sistemas de movimentação de materiais, que são em geral muito difíceis de modelar corretamente. Portanto é desejável que os programas utilizados em manufatura sejam flexíveis e tenham módulos de movimentação de materiais fáceis de usar. Classes importantes de sistemas de movimentação de materiais são empilhadeiras, veículos guiados autonomamente (AGV), incluindo módulos para determinação de caminhos, esteiras, sistemas de armazenagem e entrega automáticos (AS/RS), pontes rolantes e robôs.

Linguagens de simulação oferecem considerável flexibilidade para a modelagem e são amplamente utilizadas para simular sistemas de manufatura. Algumas destas linguagens possuem características especiais para manufatura. Existem também vários pacotes de simulação designados especificamente para a utilização em ambientes de manufatura.

## **2.11. Introdução ao AutoMod**

Um modelo é uma representação computadorizada do sistema de manufatura ou procedimentos. Pode-se usar a representação virtual para testar teorias, solucionar problemas de agendamento e layout de fábricas. Pode-se também utilizar um modelo para experimentar com novas maneiras antes de empregar grande quantidade de capital para modificar o sistema real.

Criando um modelo efetivo, que forneça informação precisa, é um processo que envolve preparação externa à criação de um modelo de software.

### **2.11.1. Simulador**

O simulador é uma interface de criação e edição que permite ao usuário definir rapidamente o fluxo do processo.

### **2.11.2. Construindo um Modelo**

Todo sistema de manufatura é constituído de dois tipos de elementos: elementos temporários, tais como produtos que se movem ao longo do sistema; e elementos permanentes, tais como as pessoas, máquinas e sistemas de manipulação de materiais. Pode-se representar todos esses tipos de elementos em um modelo.

Em um modelo do AutoMod, pessoas e máquinas que realizam trabalho sobre um produto são denominados recursos. Sistemas de movimentação de materiais, tais como, esteiras, são denominados sistemas de movimentação, e elementos temporários são denominados *loads*.

O sistema de movimentação é utilizado para mover material através da fábrica. Os sistemas de movimentação disponíveis são: AGVS, conveyors, AS/RS, Power & Free, bridge and crane e kinematics. Estes sistemas de movimentação também possuem a flexibilidade para simular outros sistemas de movimentação do mundo real, tais como empilhadeiras, pessoas e etc.

Um *load* pode ser qualquer quantidade de produtos ou materiais que se movem através do sistema.

O processo realiza o processamento necessário sobre os produtos a medida que eles se movimentam pelo sistema.

### 2.11.3. Desenvolvendo Sistemas de Movimentação

Quando ao criar um modelo, desenhe o sistema de movimentação primeiro. Sistemas de movimentação são entidades gráficas e, portanto, se torna muito mais fácil de conceituar o processo necessário para processar *loads*.

### 2.11.4. Desenvolvendo o Sistema de Processos.

A relação entre *loads*, recursos e sistema de movimentação é governada pelo sistema de processos. No sistema de processos, você define *loads*, recursos e filas. Em adição a estas entidades físicas do modelo, você cria procedimentos de processo. Procedimentos de processo são como lista de "tarefas" para *loads*.

Em um procedimento de processo, você escreve instruções para o *load* fluir, dizendo a ele o que fazer depois. Por exemplo, na operação de colocar preço, no mundo real, leva-se 15 segundos de um operador para colocar preço em cada par de sapatos; portanto, dentro do processo de fixar preços, você diz aos *loads* para usar o operador por 15 segundos.

Você utiliza a linguagem do AutoMod para escrever procedimentos de processos que dizem aos *loads* o que fazer. Esta linguagem é similar ao Inglês e fácil de usar. Suponhas os sapatos do exemplo acima trafegando em uma esteira para o processo de fixação de preço. O procedimento seguinte é o processo para mover a esteira e fixar o preço nos sapatos.

```
begin P_Pricing arriving procedure
  travel to conv:sta2          /* load trafega pela esteira */
  move into Q_Price           /* entra em uma fila para ser trabalhada */
  use R_Operator for 15 sec   /* utiliza o recurso operador */
  move into conv:sta2        /* load retorna a esteira */
  send to Pship              /* vai para o próximo processo */
end
```

### **2.11.5. Executando o modelo**

Uma vez construído o modelo, execute o modelo para validá-lo e coletar estatísticas. Você define o comprimento da simulação no controle de execução. O controle determina quando relatórios são impressos para um arquivo e quando estatísticas são resetadas. Resetar estatísticas permite ao modelo executar por um período de aquecimento para alcançar regime permanente antes das estatísticas serem coletadas.

### **2.11.6. Analizando o modelo**

O AutoMod automaticamente gera relatórios padrões sobre vários dados estatísticos. Estes relatórios automáticos estão ligados a tipos de entidades específicas, tais como:

- Processos
- Filas
- Recursos
- Sistemas de Movimentação

Relatórios podem ser ordenados de forma alfabética ou numérica para facilitar a análise. Você pode ainda definir suas próprias categorias estatísticas e desenvolver e gerar relatórios padrões. Se você possui o AutoStat, você pode adicionar ferramentas estatísticas adicionais, tal como, determinar um período de aquecimento.

Você pode converter dados do relatório em gráficos, tais como gráficos de chart, pizza, ou tempo.

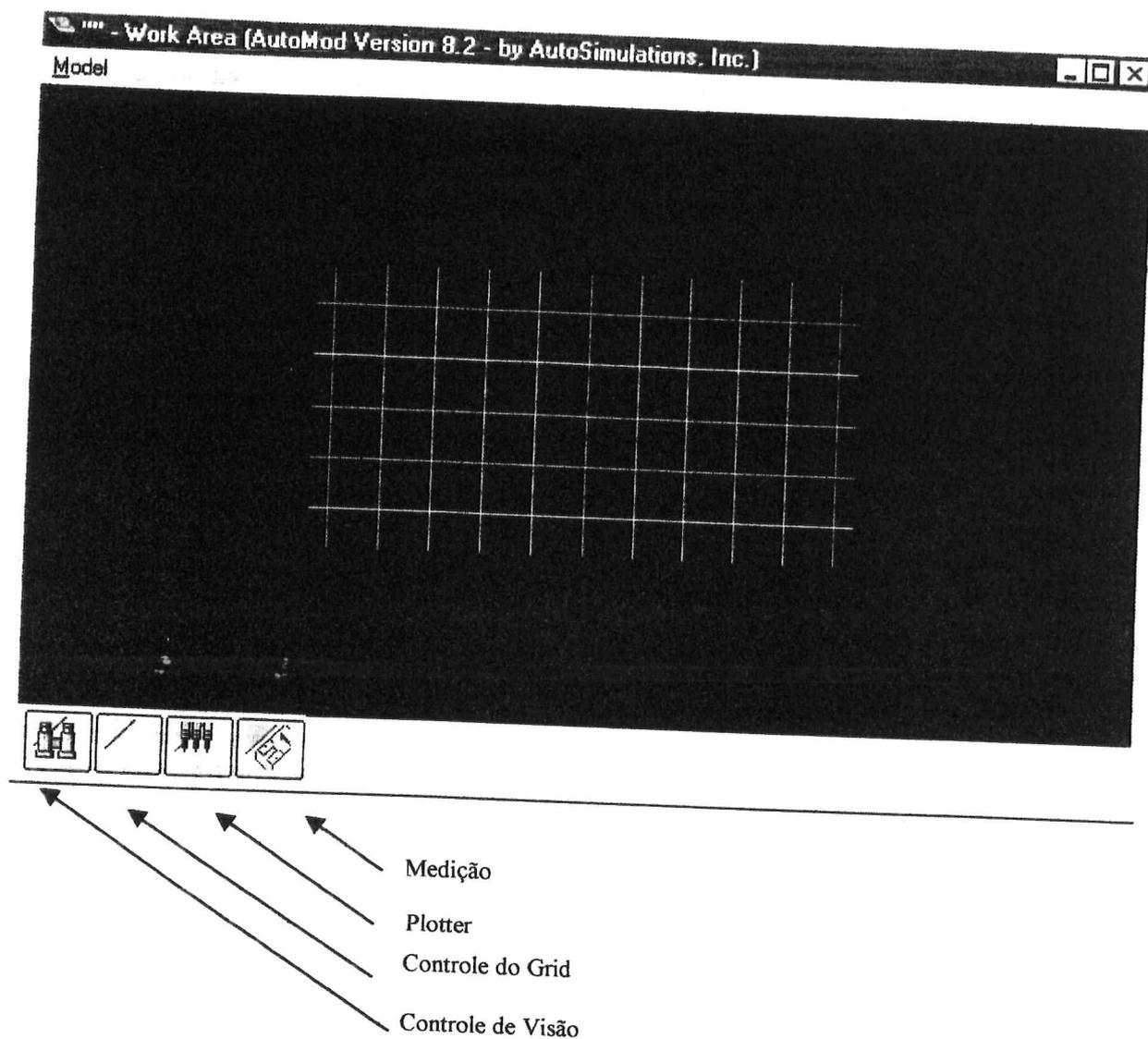
### **2.11.7. Passos para a construção de um modelo.**

Os passos a seguir são listados de forma geral, como um guia para o desenvolvimento de modelos.

- 1) Crie um nome ao modelo.
- 2) Desenhe um sistema de movimentação.
- 3) Crie e nomeie o sistema de processos.
- 4) Crie *loads*, recursos e filas.
- 5) Defina e escreva os processos para o modelo.
- 6) Crie agendas de veículos.
- 7) Compile e execute o modelo.
- 8) Valide e analise o modelo.

### **2.11.8. Ambientes de Desenvolvimento**

Existem duas partes distintas no Automod, o ambiente de desenvolvimento e o de simulação. Quando você entra pela primeira vez no AutoMod, a Área de Trabalho é apresentada.



Assim que a área de trabalho aparecer na tela, você estará no ambiente de desenvolvimento. Este é o ambiente em que você constrói seu modelo e fornece os parâmetros do modelo. Os processos e sistemas de movimentação são construídos neste ambiente.

Quando um modelo está pronto para ser executado, você utilizará o ambiente de simulação.

### 2.11.9. Principais elementos do AutoMod

#### **Processos**

Processos introduzem *loads* no sistema e dizem a eles o que fazer. Um produto somente sai da simulação através de um processo final.

Um processo não possui representação gráfica ou física. Não há limites na quantidade de processos que o Processo Principal (Process System) pode conter.

Um *load* entra num processo para executar as tarefas contidas no procedimento do processo.

#### **Loads**

*Loads* executam as ações nos procedimentos dos processos. Representam todos os elementos temporários do modelo. São os produtos que se movem através do sistema.

*Loads* podem representar qualquer quantidade de produtos e materiais. Cada *load* é considerado um item, não importando o que está sendo modelado.

Um *load* só pode existir em um veículo, fila ou esteira.

#### **Recursos (Resources)**

Recursos representam máquinas, operadores, ferramentas e qualquer outra coisa que carreguem os processos.

*Loads* pegam, utilizam e liberam recursos. *Loads* não são capazes de acessar ou utilizar um recurso se este não possui capacidade disponível ou sua capacidade Ter esgotado.

#### **Filas (Queues)**

Filas representam espaços físicos onde *loads* podem esperar.

Filas permitem aos *loads* sair de um veículo, ou esteira, através da execução de uma ação de mover no procedimento de chegada de um processo.

Um *load* não deixa a fila até ser capaz de entrar em um sistema de movimentação. Não há uma ação explícita para mover um *load* para fora da fila.

### **Order Lists**

É uma ferramenta que causa um atraso nos *loads* até que algum outro *load* forneça uma ordem para que eles continuem, permitem criar um sistema pull (puxar) ao invés de um sistema push (empurrar).

Um *load* não para, a não ser que seja forçado a esperar por alguma razão:

- Um *load* pode ser forçado a parar por um período de tempo conhecido (wait for e use ).
- Um *load* pode ser requerido para esperar por uma entidade de capacidade finita para se tornar disponível (send, use, get, move, increment e claim).
- Um *load* pode ser requerido a esperar por uma condição para se tornar verdadeiro (wait until)..
- Um *load* pode ser requerido a esperar um outro *load* para permitir sua continuação (wait to be ordered).

Um *load* esperando uma lista de ordem, permanece em sua fila corrente ou em seu sistema de movimentação corrente.

Existem dois atores em uma Order List:

- 1- O *load* ou *loads* esperando na *order list* (wait to be)
- 2- O *load* que ordena os *loads* para fora da lista (order)

Com *order lists*, *loads* são atrasados através da execução da ação "wait to be ordered" .

## **Variáveis**

Variáveis permitem a um *load* armazenar informações que qualquer *load* pode acessar e/ou modificar. Pode ser numérica (integer, real ou string), ou pode ser usada indiretamente para referenciar alguma outra entidade do modelo, como ponteiros.

Variáveis são estruturas de dados na quais o valor pode mudar durante a simulação. Variáveis são como os atributos de um *load*, exceto por serem de natureza global.

## **Conveyors (Esteiras)**

Um sistema de *conveyors* consiste em um ou mais seções de *conveyor* ao longo do qual *loads* se movimentam de acordo com atributos específicos da seção. *Loads* são movimentados de seção a seção em transfers. Estações (Stations) são pontos nos quais *loads* são colocados no *conveyor*, saem do *conveyor* e onde os processamentos são executados. *Conveyors* podem ser tanto acumulativos e não-acumulativos, podendo-se especificar sua largura e velocidade.

## **AGVS (Veículos Guiados Autonomamente)**

Um AGVS é um sistema manipulador de materiais no qual veículos controlados automaticamente se movem ao longo de um caminho guia, carregando *loads* de locais de carregamento para locais de descarga.

AGVs podem ser usados para representar empilhadeiras, pessoas ou veículos controlados por computador (qualquer sistema de veículos no qual o veículo siga um caminho). Quando modelando um sistema de veículos, os interesses são: movimento, evitar colisões e agendamento e direcionamento de veículos. *Loads* controlam as operações dos AGVs, mas o agendamento de veículos ajudam a definir as instruções de trabalho e parada.

Para um AGV evitar colisões com outros veículos enquanto se move ao longo do caminho, ele deve requisitar pontos de controle estrategicamente colocados, ou blocos.

Cada vez que um veículo encontrar congestionamento ou alcançar um destino, sua velocidade é ajustada as circunstâncias. Um veículo desacelera para parar em um ponto de controle destino, em uma estação de trabalho, ou em um local de parada.

Veículos não reduzem para reivindicar pontos de controle ou blocos, e aceleram para suas velocidades de viagem quando possível.

## **2.12. Conclusão**

Para concluir este capítulo é apresentada uma lista de algumas boas e más características da simulação. Quando ao decidir se a simulação é ou não apropriada em uma dada situação as vantagens e desvantagens devem ser consideradas.

A simulação está crescendo em uso e popularidade no estudo de sistemas complexos. Algumas vantagens da simulação são as seguintes:

- A maioria dos sistemas do mundo real são complexos e possuem elementos estocásticos que não podem ser descrito com exatidão por um modelo matemático para ser avaliado analiticamente. Portanto, uma simulação é freqüentemente o único tipo de investigação possível.
- Simulação permite estimar a performance de um sistema existente sob um conjunto de condições operacionais projetadas.
- Alternativas para descrição de sistemas ou, alternativas de políticas operacionais para um sistema único, podem ser comparadas através da

simulação para determinar qual a apresenta melhor performance a um determinado requisito.

- Em simulação é possível manter melhor controle sobre condições experimentais que experimentando com o próprio sistema.
- A simulação permite o estudo de sistemas com elevados períodos de tempo em um tempo reduzido, ou estudar detalhadamente os trabalhos do sistema em um tempo expandido.

Simulação apresenta as seguintes desvantagens:

- Cada execução de um modelo de simulação estocástico produz somente estimativas das verdadeiras características do modelo para um conjunto particular de parâmetros de entradas. Conseqüentemente, várias repetições independentes do modelo serão requeridas para cada conjunto de valores de entrada a serem estudados. Portanto se um modelo analítico válido pode ser construído facilmente, este será preterido ao modelo de simulação.
- Modelos de simulação são em geral caros e demorados de se desenvolver.

2.13. O grande volume de números produzidos por um estudo de simulação ou o impacto persuasivo de uma animação realística em geral cria a tendência de se gerar grande expectativa nos resultados do que seria justificável. Se o modelo não é uma representação válida do sistema estudado, o resultado da simulação, não importando quanto impressionante seja, irá proporcionar pouca informação aproveitável.

## Capítulo 3: Apresentação do Problema

### 3.1. Introdução

No âmbito da engenharia industrial inúmeras variáveis se apresentam como desafios para solução de problemas. Entre elas encontram-se a determinação de níveis de estoque ótimo, o balanceamento da produção, entre outras. Diversos métodos para otimização destas variáveis tem surgido ao longo do tempo, podemos citar o Kanban, o Just in Time, MRP, MRPII e tantas outras siglas. Dentre os métodos, um em especial tem ganhado espaço, principalmente nas empresas de consultoria, a simulação. Simulação corresponde a técnicas para utilizar o computador para imitar, ou simular, o funcionamento de vários tipos de facilidades e processos do mundo real. Em simulação utiliza-se o computador para se avaliar um modelo onde dados são coletados para se estimar as suas verdadeiras características. A simulação computacional, surge como uma possibilidade de se verificar quais políticas atendem os requisitos impostos pelo cliente, para fortalecer a tomada de decisão e também para se obter uma melhor compreensão do comportamento do sistema sob estudo.

No modelo a ser apresentado utilizou-se a simulação com o objetivo de determinar qual a quantidade ótima em estoque de produto acabado que se deve possuir e qual a melhor política a ser empregada para garantir um fluxo contínuo de peças capaz de servir a linha de produção com um mínimo de interrupções.

### 3.2. Descrição do problema

No bloco de produção número 14, pertencente a fábrica de minis, são produzidos os modelos de compressor EM e PW e suas variações.

No processo produtivo do compressor, o bloco, peça na qual são montados os demais componentes como pistão, eixo, rotor e estator, é fundido pela unidade fabril da Embraco em Intaiópolis, e uma vez entregue a fábrica

sofre diversos processos de usinagem para poder ser disponibilizado a montagem do compressor.

Os blocos provenientes do estoque são a matéria-prima bruta para o sistema. São alimentados manualmente para a linha transfer e completam um ciclo de trabalho nesta linha em 13,8 segundos. Os blocos seguem para a brunidora, onde podem ser acumulados na esteira de transporte na entrada da máquina na quantidade de 20 peças, formando um pequeno estoque intermediário em processo. O ciclo de trabalho da brunidora é de 12,3 segundos. O fluxo agora se direciona a lavadora, responsável pela remoção do óleo de usinagem das peças, a lavadora apresenta ciclo de operação de 9,6 segundos. Uma vez tendo passado pela lavadora são dispostos em cestos para serem transportados por veículos guiados autonomamente (AGVs) com o objetivo de disponibilizar os blocos dos compressores modelos EM para a montagem.

Opera-se sobre dois modelos de bloco, classificados quanto ao diâmetro do furo central onde é posicionado o eixo do pistão, os modelos possuem diâmetros de 19 mm e 21 mm sendo representados respectivamente por modelo 19 e 21.

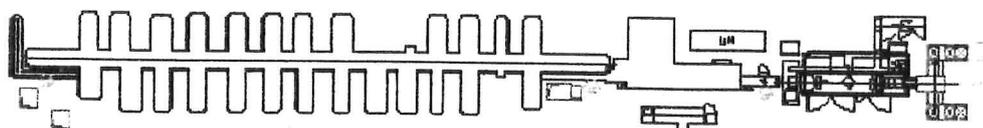


Figura 3.1 Linha de usinagem de blocos modelos 19 e 21

As ordens de produção da montagem são conhecidas e liberadas para a linha de montagem com antecedência de um mês. A linha de usinagem

explicitada opera com horizonte de até dois dias de produção a frente da montagem, justamente por sua capacidade produtiva ser menor que a capacidade de consumo que a montagem requer. Tal fato cria a necessidade da geração de estoque de produto acabado, além de estoque intermediários entre linha transfer e brunidora, e entre brunidora e lavadora. Esses estoques tem o objetivo de evitar perda de produtividade no caso de paradas sejam estas paradas esperadas, como paradas programadas para manutenção, limpeza ou troca de ferramenta, ou sejam paradas não desejadas como no caso da quebra de ferramentas ou outro dispositivo.

A consequência direta de se possuir estoque de produto acabado e estoque entre processos está na elevação dos custos de produção, na medida que se insere custos de transporte e armazenagem e que se possui produto acabado não consumido, ou seja, capital empreendido que não está sendo utilizado para sua função primordial de gerar mais capital para empresa. As consequências indiretas de se possuir elevado nível de estoque estão no risco de retrabalho ou sucateamento da produção por oxidação, ou envelhecimento do material e para que tal fato não ocorra é necessário mais um item de controle.

Sistemas automatizados de transporte, como AGVs, operam segundo parâmetros rígidos de performance de produção, para tal é necessário que haja um balanceamento de produção entre o que está sendo produzido pela linha transfer e o aquilo que está sendo consumido pela montagem. Sistemas com fluxos inconstantes e que apresentam mudanças repentinas nas ordens de produção são sistemas instáveis para sistemas automatizados, acarretando diversos erros, citando o caso dos AGVs da Embraco, com a entrega de cestos com produtos não consumidos pela fábrica ou mesmo a inutilização do sistema de transporte, uma vez que as peças que estão entre processos não deverão seguir o fluxo normal, sendo retiradas manualmente do sistema, ocasionando mais uma vez custos e mão-de-obra adicional para realizar movimentação.

Os fatos apresentados acima ocorrem com frequência na linha em análise. Existem atualmente mais de dois mil blocos armazenados como produto acabado em estoque em área climatizada, para reduzir o efeito de oxidação, e mais de um mil blocos em estoques em processo e intermediários.

A quantidade total estocada é equivalente a dois turnos de produção ininterruptas, cerca de 16 horas acarretando em elevação de custos operacionais.

A justificativa para se ter estoques elevados estão no desbalanceamento das ordens de produção, no tempo total de produção da linha que é inferior ao consumo da montagem e principalmente no número elevado de paradas não previstas. Apresenta-se como “gargalo” a linha transfer onde ocorrem a maioria das interrupções para manutenção e onde as troca de ferramentas são mais freqüentes, além de possuir tempo de ciclo superior ao da brunidora e da lavadora.

O principais objetivos a serem alcançados são os de determinar qual a melhor estratégia para alocação de estoque necessário para suprir a montagem dos compressores de forma a não faltar blocos para a mesma, de determinar a quantidade ótima de estoque de forma a reduzir os custos e as perdas com a armazenagem e manipulação destes, e por fim, determinar a maneira pela qual a produtividade do sistema é melhorada de forma a balancear o funcionamento da linha e o fornecimento de peças para montagem.

Devido a flexibilidade de um modelo de simulação é possível representar configurações diferentes para o atendimento dos requisitos, obtendo resultados confiáveis, auxiliando na tomada de decisão quanto a sua aplicação.

### **3.3. Descrição do Modelo**

Com base nas informações obtidas do processo que se deseja simular, parte-se para a etapa de estruturação e modelagem do processo, com o objetivo de representá-lo na ferramenta de simulação, o funcionamento do modelo será descrito nos próximos parágrafos.

O modelo primeiramente faz a leitura das ordens de produção limitadas ao período que se deseja simular, as ordens de produção são dados obtidos do histórico de fabricação e dos pedidos futuros, abrangendo uma faixa que

permite ao modelo verificar o comportamento já conhecido e permitir a análise de eventos futuros. Estes dados são lidos a partir de um arquivo com formatação em tabela de tal forma que se possa modificá-lo facilmente, inclusive por uma entrada acrescentada ao arquivo executável do modelo gerado pela ferramenta de simulação.

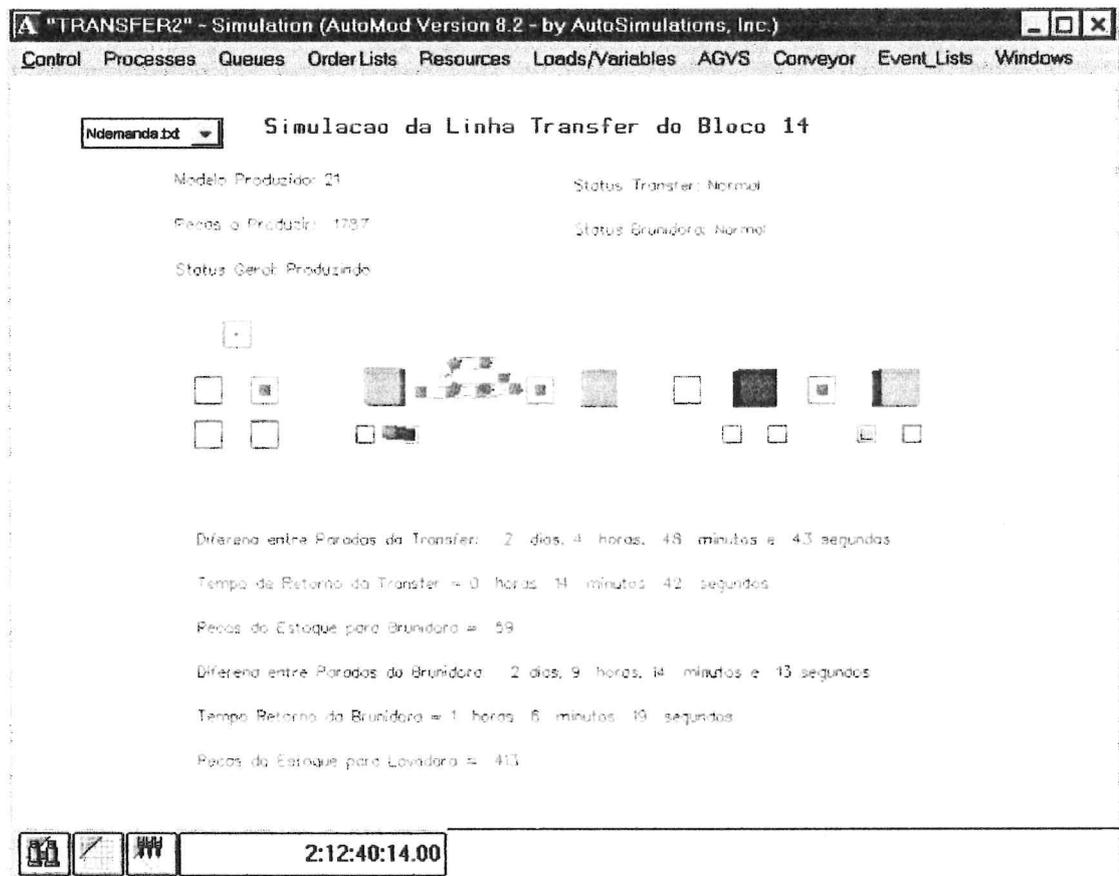


Figura 3.2 Interface do modelo de simulação

As ordens são executadas em períodos constantes estipulados em 24 horas, ou seja, as ordens de produção são disponibilizadas para a operação em intervalos de 1 dia, pois este é o período em que as máquinas operam para atender a ordem, e mesmo que esta seja cumprida pelo modelo, uma nova ordem não será adiantada, com o objetivo de se verificar o tempo ocioso que porventura ocorra, podendo este tempo em que as máquinas encontram-se sem ordens de produção servir para que sejam programadas intervenções de manutenção preventiva.

Posteriormente o modelo de simulação identifica o tipo de bloco a produzir e o vincula adequadamente a ordem de forma a executar o tipo de bloco correto na quantidade requisitada. É então verificado a quantidade de produto acabado em estoque. Existindo produto acabado então é feito o rodízio de estoque, descontando-se da ordem de produção o volume em estoque, de tal forma a possuir um volume mínimo, ou até mesmo nenhum estoque de produto acabado.

As ordens de produção são desmembradas em peças individuais a serem produzidas (consumidas pelo modelo) que seguem o caminho de produção, passando pelas máquinas em série citadas, respeitando o ciclo de operação de cada uma individualmente.

Caso nenhuma eventual interrupção ocorra, a peça seguirá entre as máquinas, estando disponível para utilização pela montagem.

Paralelamente as atividades que transcorrem na linha, processos independentes verificam a distribuição de parada das máquinas individualmente. As distribuições configuradas para o modelo são armazenadas em arquivo, o que permite a edição de alguns dos seus parâmetros durante a execução da simulação. Estas interrupções são de dois tipos, as de tempo médio para reparo (do inglês Mean Time To Repair, MTTR) que representa o tempo médio estimado pela distribuição associada, no qual após uma parada o recurso estará novamente em condições de uso, e o tempo médio entre paradas (do inglês Mean Time Between Failure, MTBF) que tem como significado o tempo médio entre paradas sucessivas. De posse destas duas distribuições o modelo estima intervenções sucessivas na utilização dos recursos. Estas distribuições existem para a linha transfer e para a brunidora, ocorrendo com mais frequência na transfer. A lavadora não possui distribuição devido ao seu elevado índice de confiabilidade e conseqüente ausência de dados acurados de controle do equipamento.

No caso de uma interrupção tanto na Transfer quanto na Brunidora é iniciado o procedimento que fornece peças do estoque para que o processo tenha continuidade. Os estoques estão localizados entre a linha transfer e brunidora, e entre a brunidora e a lavadora. Estes estoques intermediários gerados são o que se deseja mensurar, com a finalidade de determinar qual o

valor adequado que deve ser armazenado para garantir um fluxo uniforme de operação da linha.

### **3.4. Implementação**

O modelo de simulação descrito no item anterior foi elaborado na ferramenta de simulação AutoMod<sup>®</sup>, para tal, adequa-se a descrição do modelo a linguagem utilizada pelo programa.

O fator preponderante do modelo diz respeito a distribuição obtida para simular as paradas realizadas nas máquinas, quanto mais próximo da realidade estas distribuições estiverem, maior a confiabilidade do modelo pois mais exatos estarão os resultados obtidos.

As entradas do modelo consistem de informações da demanda de produção e do tipo de distribuição para representar os tempos de parada de máquinas.

Como dados disponíveis de demanda encontram-se os dados históricos, assim como ordens de produção futuras. Ambos tipos de dados foram obtidos através de informações coletadas no sistema de controle fino da produção existente na Embraco. Os dados foram dispostos em um arquivo anexo que pode ser modificado em tempo de execução que por sua vez qualquer alteração influencia no comportamento do modelo. Tal fator é uma característica importante, pois permite simular, por exemplo, o que aconteceria com o sistema no caso de uma ordem de produção com um número de peças a fabricar elevado. Este arquivo é totalmente lido e os dados são anexados em uma variável que possui a forma de uma matriz bidimensional, onde a primeira linha corresponde as ordens de fabricação diárias para o tipo de bloco de diâmetro 19 e a segunda linha para o tipo de bloco com diâmetro 21, e as colunas, representando o valor da produção diária.

A cada período de 24 horas uma ordem de produção é lançada à cadeia produtiva, podendo ou não ser atendida no período proposto. No caso de ser atendida em tempo inferior a uma nova chegada de ordens de produção as

máquinas ficam ociosas aguardando as ordens, e no caso de a ordem não ter sido atendida no período, um novo conjunto de ordens é lido, e fica em espera em uma fila de espera. Uma vez que a ordem foi cumprida, o modelo procura se há uma nova ordem de produção do mesmo tipo de bloco que está sendo produzido no momento e a executa puxando a ordem da fila de espera (*Order List*). Caso não haja uma ordem do mesmo tipo, o modelo puxa a do tipo diferente, e caso não haja nenhuma ordem em ambas as filas as máquinas permanecerão ociosas. Considerando que para iniciar a produção de um tipo de bloco diferente é necessário o preparo das máquinas, ou seja, um tempo de *setup*.

O tempo de *setup* é obtido por uma distribuição estatística do tipo normal de 18 minutos de média e de desvio padrão 5 minutos, o que proporciona um grau de confiabilidade de 97%, ou seja, a distribuição é capaz de gerar valores que em 97% das vezes corresponderá a valores dentro da faixa esperada. Durante o tempo de preparação ocorre a parada de todos os equipamentos envolvidos, pois com exceção da lavadora todos necessitam de trocas de ferramental para produzir o novo modelo em questão. Neste período, nenhuma parada de máquina pode ocorrer, simplesmente porque as máquinas não estão em operação. No caso de uma máquina já se encontrar parada devido a alguma ocorrência de manutenção corretiva, os tempos de *setup* e o tempo de reparo são sobrepostos, como se ambas ocorressem simultaneamente. Caso a parada de manutenção se estenda por um período maior que o *setup*, ao fim deste, a máquina permanecerá parada. Ao término do *setup* as máquina são habilitadas a retornarem a operação e imediatamente iniciam a produção da peça devida. No procedimento algorítmico que gera as interrupções para troca de ferramentas são geradas informações de controle para o gerenciamento do programa e outras para fornecer ao usuário as condições de operação naquele instante e ainda gerar entradas para a medida da produtividade do sistema (esta última entrada é gerada através de chamadas a funções específicas). Uma vez feita a verificação do tipo e a necessidade ou não da execução de *setup* a peça estará a disposição da linha para processamento.

A linha transfer é o primeiro equipamento a realizar transformações na peça. A peça é alimentada na linha e a partir daí sofre uma série de processos

de usinagem até atingir suas especificações. Todas as operações realizadas na linha em conjunto resultam em um tempo de ciclo de 13,8 segundos. Este valor constante representa fielmente o tempo de operação, ou seja, o quanto é gasto de tempo desde a entrada da peça na linha até o término da última operação. No modelo, o procedimento que representa a linha transfer é o responsável pela geração de peças individualmente, desmembrando as ordens de produção em unidades a serem produzidas, estas peças são geradas enquanto houver peças a serem produzidas para se completar a ordem de produção. O próximo procedimento trata das operações realizadas na Brunidora e do controle das peças produzidas.

Na Brunidora as peças provenientes da linha transfer sofrem operações em seqüência, resultando em um tempo de ciclo de 12,8 segundos, quando então são dispostas ao procedimento de lavagem. Após a utilização do bloco pela brunidora, a peça pode ser considerada um produto acabado, pronto para a armazenagem, ou seja, nenhuma outra operação de transformação será realizada a não ser quando da necessidade de recuperação ou retrabalho. Por esta razão é lógico que o controle da demanda deva ser feito a partir deste ponto do programa. Quando uma peça deixa o recurso Brunidora é imediatamente decrementada uma unidade da ordem de produção e posteriormente é realizada a verificação do número de peças restantes a serem produzidas. Caso se encerre a ordem de produção, um seqüência de ações toma rumo, a fim de iniciarem uma nova ordem, para isso verificam as filas de espera anteriormente citadas e mais tarde os procedimentos de *setup* caso estes sejam necessários. Para cada peça é verificado, se a mesma é proveniente do estoque intermediário entre transfer - brunidora, caso seja, é porque houve uma interrupção da execução normal da linha transfer e peças devem ser retiradas deste estoque, até que uma nova peça proveniente da transfer esteja novamente disponível para máquina. Caso, neste intervalo de tempo em que a linha transfer está parada e as peças consumidas são as do estoque intermediário, a quantidade de peças retirada do estoque for suficiente para se cumprir a ordem de produção, um nova ordem de produção é requisitada, podendo haver a necessidade ou não de interrupção para preparação de máquina e a conseqüente produção de um novo modelo.

A peça tendo passado pela Brunidora já pode ser considerada um produto acabado, pois a lavadora não impõe grandes restrições ao modelo. Caso haja uma parada da Brunidora, imediatamente são retiradas peças de um novo estoque, o estoque intermediário existente entre a Brunidora e a Lavadora, ou seja, estoque de produto acabado.

Os eventos de interrupção do funcionamento normal da Transfer são registrados por funções complementares que possuem a finalidade de gerar relatórios sobre seu funcionamento no decorrer da simulação. Uma medida de desempenho utilizada é a produtividade da Transfer, que é mensurada como sendo a razão entre o tempo disponível para operação (tempo em funcionamento subtraído o tempo de paradas) e o tempo de simulação.

Os parâmetros principais de um modelo de simulação estocástico em manufatura são as distribuições utilizadas para simular o comportamento de máquinas e equipamentos.

### **3.5. Modelando Sistemas Aleatórios**

Neste tópico se abordará alguns tópicos sobre a modelagem de sistemas aleatórios que são particularmente relacionado com sistemas de manufatura, com maior ênfase a representação do tempo de queda de máquinas.

#### **3.5.1. Fontes de aleatoriedade**

As fontes comuns de aleatoriedade em sistemas de manufatura são muitas e a complexidade das relações entre esses fatores aleatórios fazem que seja muito difícil a elaboração de um modelo matemático analítico. Algumas fontes de aleatoriedade estão listadas abaixo:

- Tempo entre chegadas sucessivas de peças, trabalho ou matéria prima no sistema.
- Tempo de processamento ou montagem de peças.

- Tempo de operação de uma máquina antes de uma quebra ou parada.
- Tempo de parada para uma máquina quebrada ou parada.
- Tempo de *setup* para mudar a máquina para produzir um outro tipo de peça.

Note que em alguns casos as quantidades acima podem ser constantes. Por exemplo, o tempo de processamento de uma máquina automática pode não variar significativamente.

Existem atualmente duas formas nas quais as peças entram no sistema de manufatura. Em alguns sistemas é freqüentemente assumido que existe um suprimento ilimitado de matéria prima em frente da primeira máquina. Então a taxa na qual as peças entram no sistema é a taxa efetiva de processamento da primeira máquina. Trabalhos ou ordens podem também chegar a um modelo de acordo com um agendamento da produção, o qual especifica o tempo de chegada, o tipo de peça e o tamanho da ordem a ser produzida. Em um modelo de simulação, o agendamento da produção é tipicamente lido de arquivos externos.

Histogramas de processos observados para processamento (montagem), operação (ocupado) e tempo de reparo, cada um tende a possuir um formato distinto, as figuras 3.3, 3.4 e 3.5 mostram estes três tipos de dados. Note que o tempo de operação na figura 3.4 tem uma forma quase exponencial. No entanto, a distribuição exponencial não proporciona um bom modelo para estes dados.

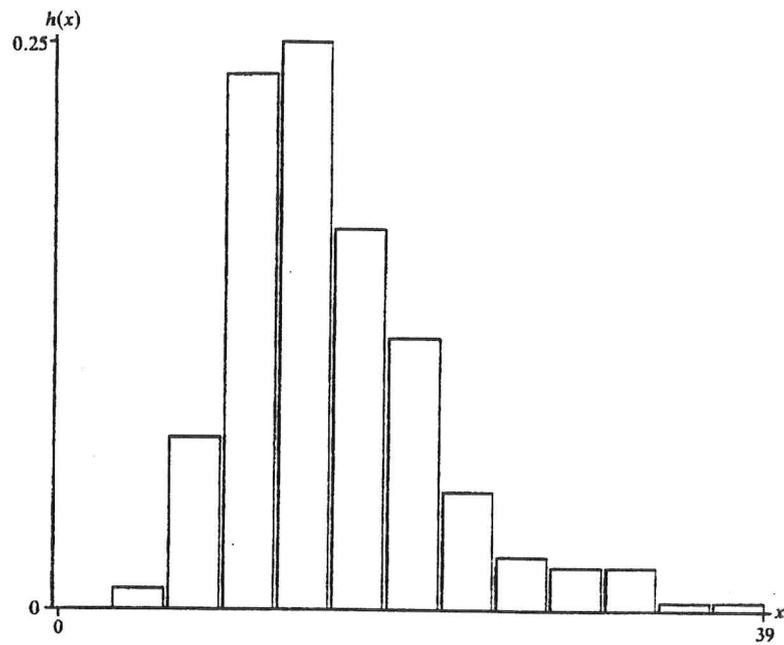


Figura 3.3 - Histograma do tempo de montagem

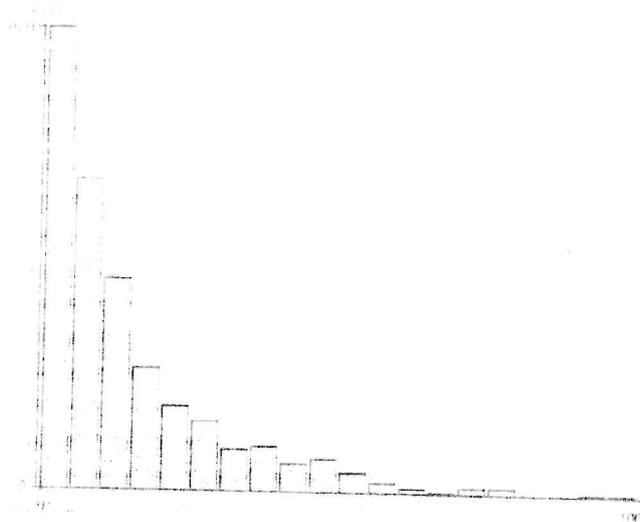


Figura 3.4 Histograma do tempo de operação

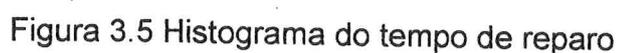


Figura 3.5 Histograma do tempo de reparo

### 3.1.1. Tempo de Queda de Máquinas

A fonte de aleatoriedade mais importante para a maioria de sistemas de manufatura está associada com tempos de quebra de máquinas ou tempos de queda não esperadas. Tempos de queda aleatórios resultam de eventos tais como falhas de máquinas, peças emperradas e ferramentas quebradas.

Uma máquina funciona em ciclos, com o  $i$ -ésimo ciclo consistindo de um segmento em operação de comprimento  $U_i$  seguido de um segmento onde a máquina encontra-se parada de comprimento  $D_i$ . Durante um segmento de operação, uma máquina irá processar peças, se há alguma disponível e se a máquina não está bloqueada. Os dois primeiros ciclos operação/quebra para uma máquina estão representados na figura 2.4. Seja  $B_i$  e  $I_i$  o tempo durante  $U_i$  em que a máquina está ocupada processando peças e que a máquina está ociosa respectivamente. Então  $U_i = B_i + I_i$ . Note que  $B_i$  e  $I_i$  podem corresponder a um número em diferentes segmentos e por isso não estão representados na figura 3.6

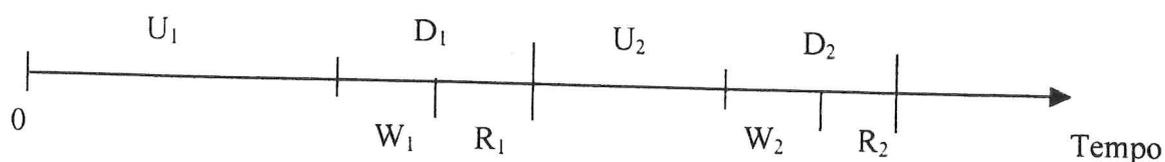


Figura 3.6 Ciclos de operação/quebra de uma máquina

Suponha agora que não há dados disponíveis para obter uma distribuição. Isto freqüentemente ocorre quando simulando uma facilidade proposta de manufatura, mas também pode ser o caso para uma planta existente quando o tempo é inadequado para aquisição de dados e análise. Apresenta-se agora uma tentativa de modelar para este caso, que é considerado mais adequado que muitas das abordagens realizadas na prática.

Iremos primeiramente assumir que a quantidade de tempo ocupado (em operação),  $B$ , antes de uma falha possua uma distribuição gama com parâmetro de forma  $\alpha_B = 0,7$  e parâmetro de escala  $\beta_B$  a ser especificado. Note que a distribuição exponencial (distribuição gama com  $\alpha_B = 1,0$ ) não parece, em geral, ser um bom modelo para tempo de operação de máquinas, mesmo que sejam freqüentemente utilizadas para modelos de simulação para este propósito.

A distribuição gama foi escolhida devido a sua flexibilidade, ou seja, sua densidade pode assumir uma grande variedade de formas, e por possuir a forma geral de muitos histogramas com tempos de operação  $\alpha_B \leq 1,0$ . O parâmetro de forma  $\alpha_B = 0,7$  foi determinado após se adequar a distribuição gama a quatro conjuntos distintos de dados de tempos de operação, com 0.7 sendo o parâmetro de forma médio obtido. Em nenhum destes quatro casos o

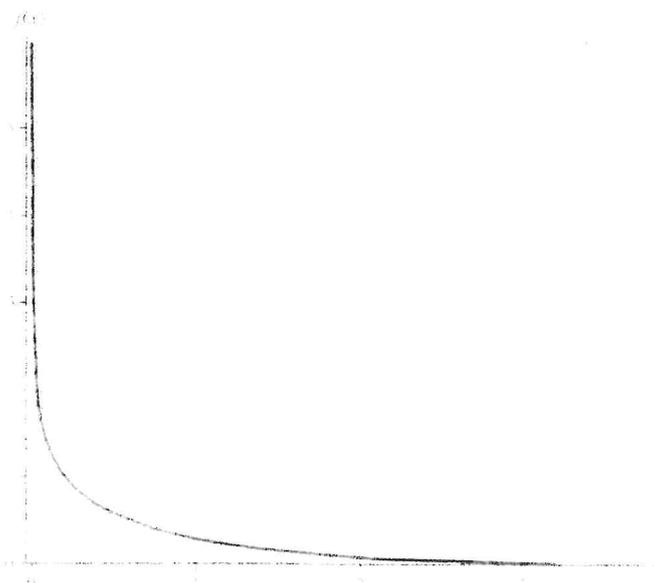


Figura 3.7 Distribuição Gama (0.7, 1.0)

Assume-se também que o tempo de reparo de máquinas possui uma distribuição gama com parâmetro de  $\alpha_D = 1.4$  e parâmetro de escala  $\beta_D$  a ser determinado. Este parâmetro de forma particular foi determinado adequando-se a distribuição gama para seis diferentes conjuntos de dados de tempo de reparo, com 1.4 sendo o parâmetro de forma médio obtido. O fato que  $\alpha_D = 2 \cdot \alpha_B$  é aparentemente uma simples coincidência. A função de densidade para a distribuição gama com parâmetro de forma e de escala 1.4 e 1.0, respectivamente são mostrados na figura 3.8. Esta função de densidade possui o mesmo formato geral que os histogramas de tempos de reparo tipicamente encontrados na prática.



Figura 3.8 Distribuição Gama(1.4, 1.0)

De forma a completar o modelo de tempo de reparo na ausência de dados, deve-se especificar os parâmetro de escala  $\beta_B$  e  $\beta_D$ . Isto pode ser feito solicitando duas informações de especialistas no sistema (engenheiros ou vendedores). É conveniente e tipicamente possível se obter uma estimativa da média do tempo de queda  $\mu_D = E(D)$  e uma estimativa da eficiência  $e$ , a qual será definida a seguir. A eficiência  $e$  é definida como sendo a proporção entre a o tempo de operação e o tempo de processamento potencial, durante o qual a máquina está em operação e é dado por:

$$e = \frac{\mu_B}{\mu_B + \mu_D}$$

onde  $\mu_B = E(B)$  é a média do tempo de operação antes de uma falha. Se uma máquina nunca está ociosa ou bloqueada, então  $\mu_B = \mu_U = E(U)$  e  $e$  é a proporção do tempo durante o qual a máquina está processando peças. Utilizando os valores de  $\mu_D$  e  $e$  (e também o fato de que a média de uma distribuição gama é o produto do seus parâmetros de forma e escala), é fácil verificar que os parâmetro de escala são dados por

$$\beta_B = \frac{e \cdot \mu_D}{0.7(1 - e)}$$

e

$$\beta_D = \frac{\mu_D}{1.4}$$

Portanto, o modelo para o tempo de quebra quando não há dados disponíveis foi completamente descrito.

### 3.5.3. Distribuição da Linha Transfer

A distribuição da linha Transfer do modelo enquadra-se no caso descrito na seção anterior, ou seja, não foi possível conseguir dados em uma quantidade tal que fosse possível se construir uma distribuição confiável que fosse capaz de descrever com fidelidade o comportamento das máquinas.

Utilizando-se do software de investigação estatística, Unifit 2<sup>®</sup>, elaborado pelo prof. Law [1], foi possível de uma forma mais aprofundada gerar e avaliar as distribuições de parada e entre paradas sucessivas a serem utilizadas tanto pela linha Transfer, quanto pela Brunidora. Para gerar a distribuição da linha transfer se fez uso do valor médio de paradas ocorridas em um dia de produção e o número médio de paradas por dia, ambos calculados a partir dos dados pesquisados, conforme apresentado na seqüência abaixo que ilustra os dados fornecidos e calculados para representar as distribuições das máquinas:

#### 1. Modelos dos Tempos de Ocupação e Queda de Máquinas

Unidade de tempo	Minutos
Período de medição	1 Dia
Tempo médio de paradas em minutos	33.8873
Número médio de paradas por dia	1.3077

## 2. Resultados

Eficiência da máquina	0.9690	(calculado)
Menor intervalo entre quedas possível	0.0000	(padrão)
Tempo médio de paradas em minutos	33.8873	(especificado)
Número médio de paradas por dia	1.3077	(especificado)
Menor tempo em operação possível	0.0000	(padrão)

## 3. Modelos do tempo em operação e do tempo de paradas

Modelo do tempo em operação (MTBF): Distribuição Gama

Parâmetro de Localização	0.000
Parâmetro de Escala	1096.12
Parâmetro de Forma	0.700000

Modelo de tempo de reparo (MTTR): Distribuição Gama

Parâmetro de Localização	0.000
Parâmetro de Escala	22.7766
Parâmetro de Forma	1.40

## 4. Representação dos Modelos

Representação no AutoMod II

MTBF	gamma 0.7, 1096.12
MTTR	gamma 1.4, 22.7766

## 5. Funções de Densidade

DENSITY FUNCTION PLOT OF BUSY-TIME MODEL  
FOR MACHINE: TRANSFER

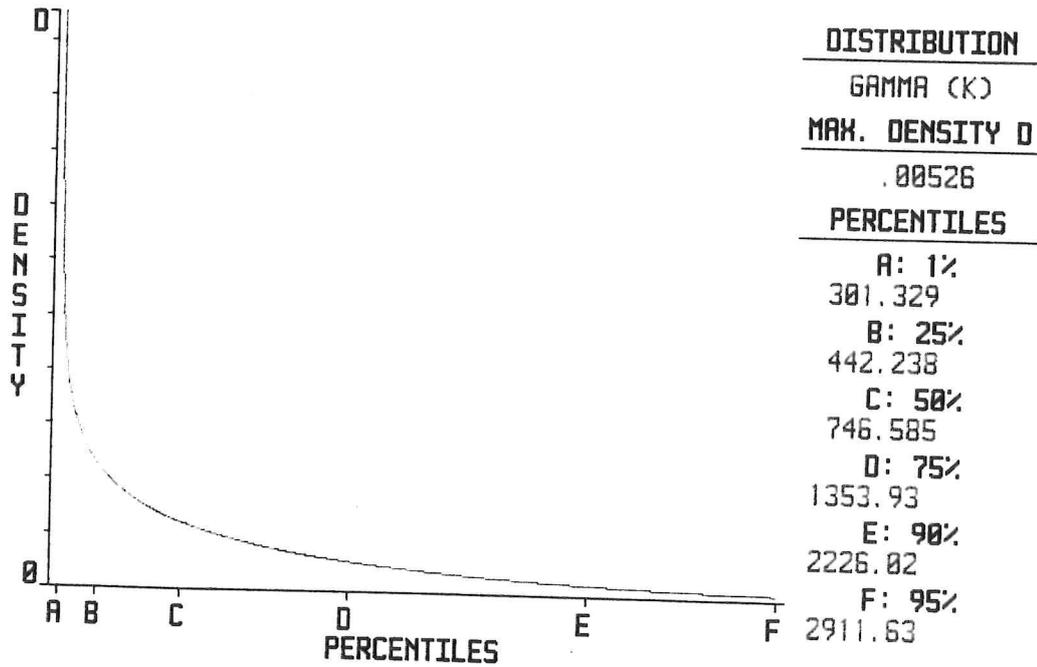


Figura 3.9 - Função densidade do tempo em operação

DENSITY FUNCTION PLOT OF DOWNTIME MODEL  
FOR MACHINE: TRANSFER

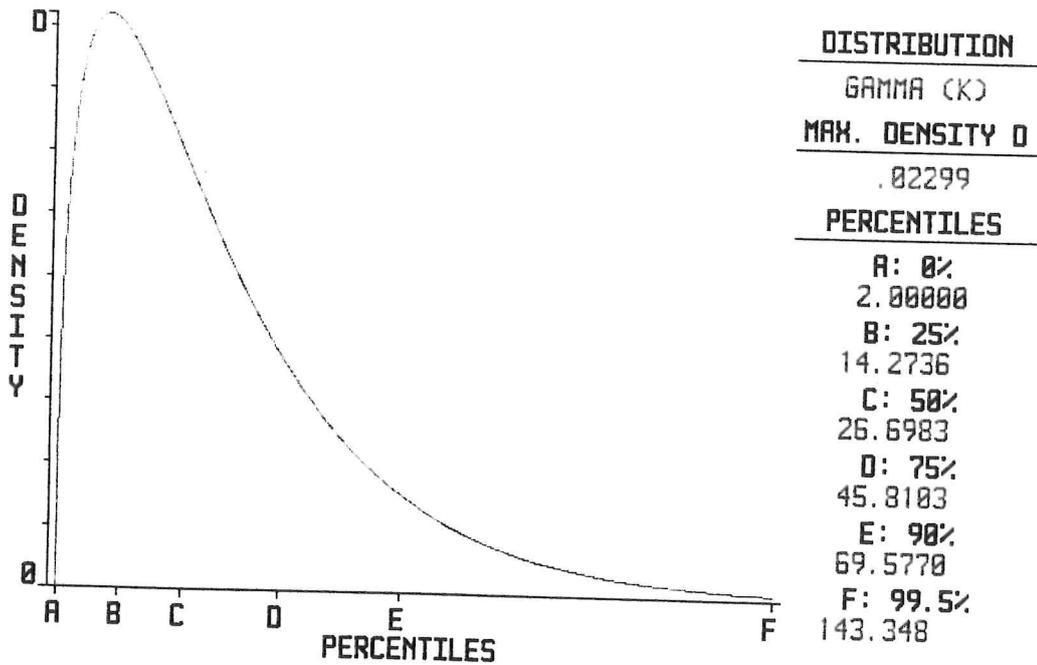


Figura 3.10 - Função de densidade para o tempo entre reparos.

Observando os valores do gráfico da função de densidade do tempo em operação percebe-se que, por exemplo, 75% dos casos estarão na faixa de valores até 1353 minutos. E da função de densidade do tempo entre reparos mostra que para os mesmos 75% dos casos estarão na casa de 45.81 minutos.

O mesmo procedimento foi realizado para se determinar uma distribuição para a Brunidora.

### 1. Modelos dos Tempos de Ocupação e Queda de Máquinas

Unidade de tempo	Minutos
Período de medição	1 Dia
Tempo médio de paradas em minutos	33.8873
Número médio de paradas por dia	1.3077

### 2. Resultados

Eficiência da máquina	0.9690	(calculado)
Menor intervalo entre quedas possível	0.0000	(padrão)
Tempo médio de paradas em minutos	33.8873	(especificado)
Número médio de paradas por dia	1.3077	(especificado)
Menor tempo em operação possível	0.0000	(padrão)

### 3. Modelos do tempo em operação e do tempo de paradas

#### Modelo do tempo em operação (MTBF): Distribuição Gama

Parâmetro de Localização	0.000
Parâmetro de Escala	1096.12
Parâmetro de Forma	0.70

#### Modelo de tempo de reparo (MTTR): Distribuição Gama

Parâmetro de Localização	0.000
Parâmetro de Escala	22.7766
Parâmetro de Forma	1.40

#### 4. Representação dos Modelos

Representação no AutoMod II

MTBF            gamma 0.7, 1096.12

MTTR            gamma 1.4, 22.7766

#### 5. Funções de Densidade

DENSITY FUNCTION PLOT OF BUSY-TIME MODEL  
FOR MACHINE: TRANSFER

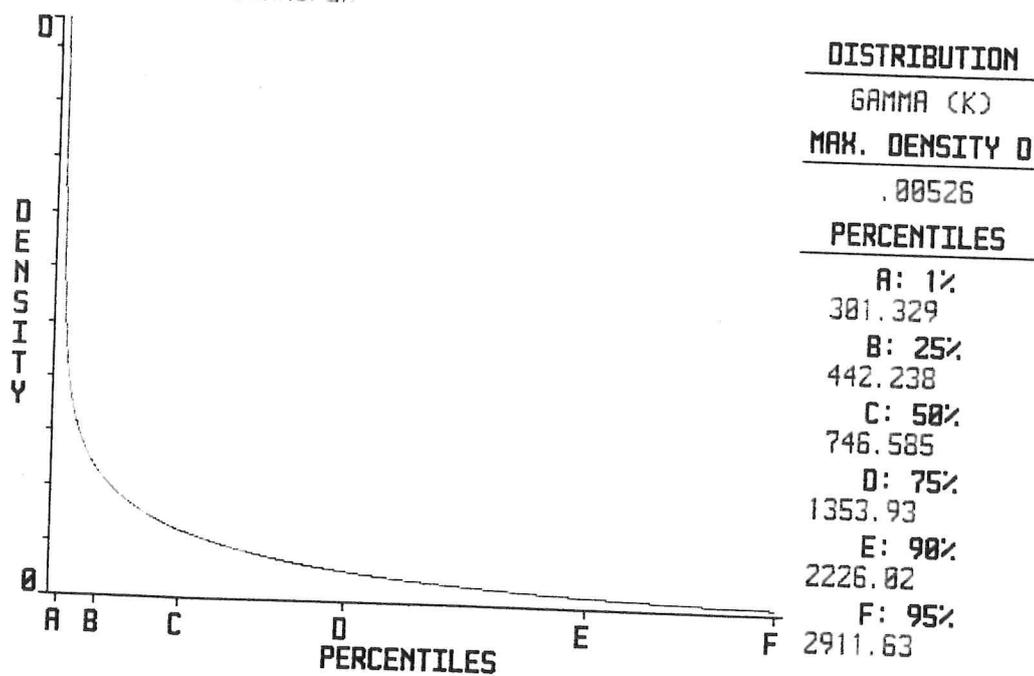


Figura 3.11 - Função densidade do tempo em operação

DENSITY FUNCTION PLOT OF DOWNTIME MODEL  
FOR MACHINE: TRANSFER

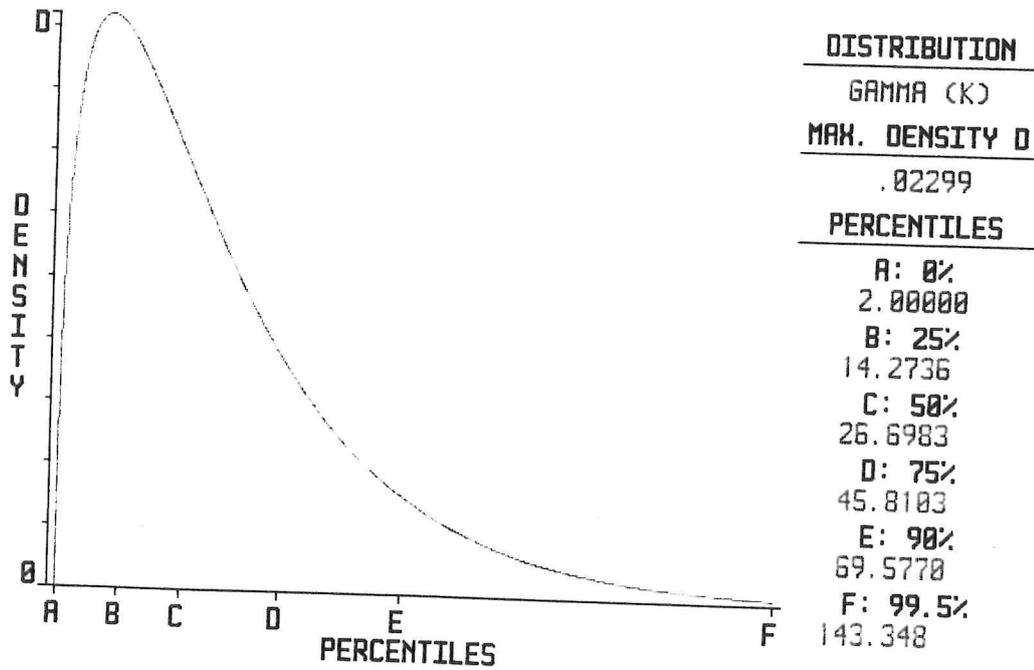


Figura 3.12 - Função de densidade para o tempo em reparo.

De posse das distribuições que são fundamentais para o correto funcionamento do modelo, procura-se cumprir agora a etapa de validação dos valores obtidos, de forma a verificar o quanto estes correspondem a sistema no mundo real.

Através da comparação dos valores para as medidas de desempenho obtidos com os valores esperados, através da análise dos dados fornecidos pelo modelos e os dados disponíveis do comportamento da linha e por último mas não menos importante, a coleta de informação de pessoas que estão diretamente ligadas ao processo assim como com os responsáveis pela fabricação dos blocos, foi possível determinar que o modelo representa com elevado grau de confiabilidade as verdadeiras características do sistema.

### 3.6. Resultados

Após a confirmação da validade do modelo quanto aos objetivos a que foram determinados, cabe agora a execução do modelo de simulação afim de se obter respostas aos parâmetros de desempenho especificados.

A execução do modelo deu – se para um intervalo de dados correspondentes as ordens de produção de 43 dias, dentre as quais estão ordens de produção antigas, em execução e ordens de produção programadas para ocorrência futura. Sendo assim, este modelo em potencial é capaz representar eventos passados e futuros facilitando desta a forma a análise e verificação dos valores obtidos, como também a previsão das necessidades requisitadas pelo sistema.

O modelo foi então executado por períodos ininterruptos de 24 horas, conforme funcionamento da linha, a qual opera em três turnos com revezamento de forma a evitar interrupções para intervalos programados como lanche e troca de turno.

Considera-se também a obediência as ordens de produção diárias, ou seja, nenhuma ordem será adiantada no caso do término da execução das ordens programadas para aquele dia. Tal fator se justifica dada a necessidade de conhecer se a linha possui capacidade ociosa operando com a política atual de produção. Sendo que todo o tempo em que a máquina poderia estar produzindo, mas não está, poderia ser convertido em paradas para manutenção preventiva sem perda de produtividade.

Como medida de desempenho fundamental para se medir o grau de satisfação do modelo frente ao mundo real, a produtividade da linha transfer foi traçada, como sendo a razão entre os tempos nos quais a linha não está produzindo, pelo tempo total de produção da linha, conforme representado na figura abaixo.

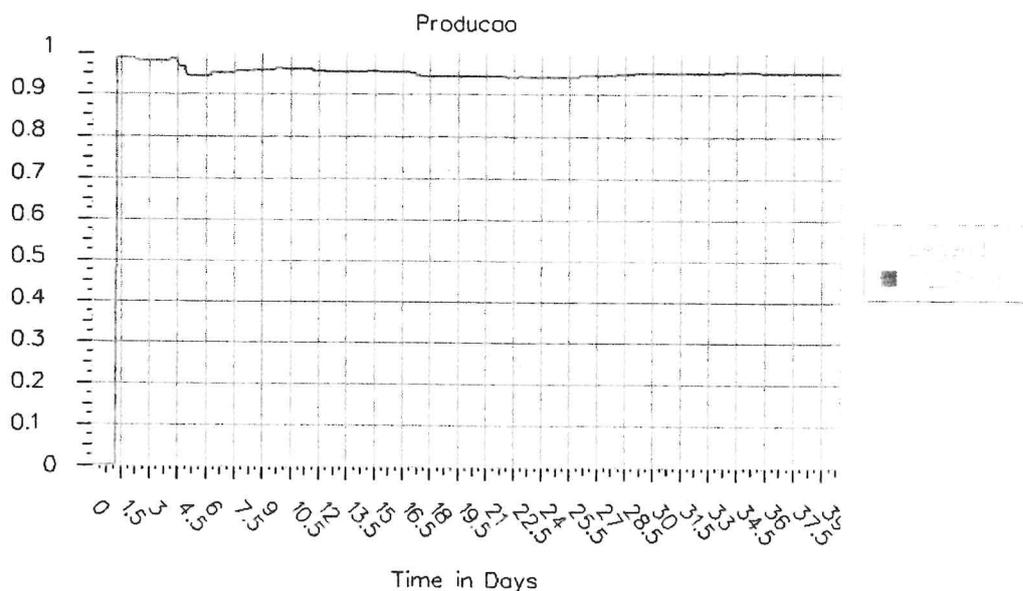


Figura 3.13 Medida da produtividade simulada

O índice de produtividade de cerca de 95%, difere muito pouco do que é obtido na prática. Este é um bom indicativo de que a simulação logrou êxito ao imitar o mundo real.

Os gráficos apresentados a seguir refletem o comportamento das principais medidas de desempenho e dos valores que se deseja conhecer para que se possa, baseado nos valores obtidos, tomar-se uma decisão sobre o valor de estoque deve ser mantido e qual a política de funcionamento de armazenagem e produção devem ser adotadas.

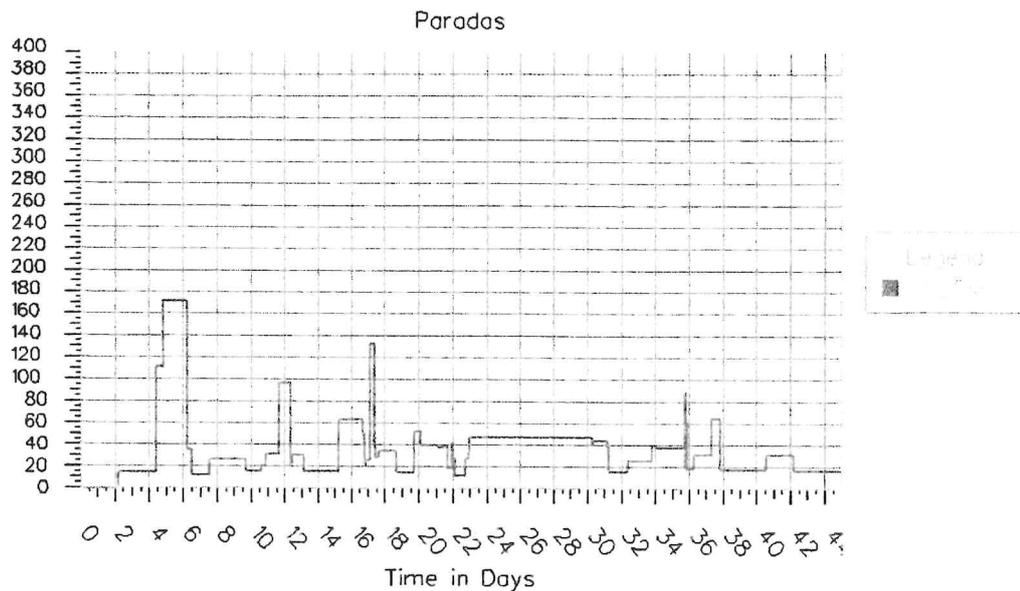


Figura 3.14 Gráfico de paradas simuladas para transfer (minutos x dia)

A figura 3.14 representa as paradas da transfer durante a execução do modelo, observa-se a que a frequência de paradas de pequena duração é maior que a de paradas longas, representando as interrupções para troca de ferramenta, reparo ou substituição de peças da máquina. Já a figura 3.15 representa a quantidade de peças necessárias para composição do estoque intermediário entre transfer e brunidora, observa-se que existem picos de 600 peças e que a média não ultrapassa as 200 peças.

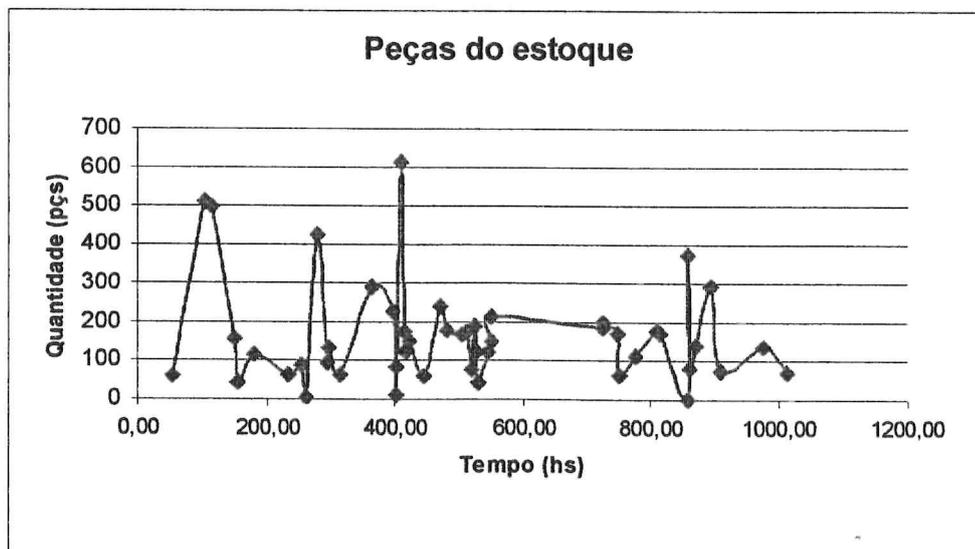


Figura 3.15 Estoque intermediário entre transfer e brunidora

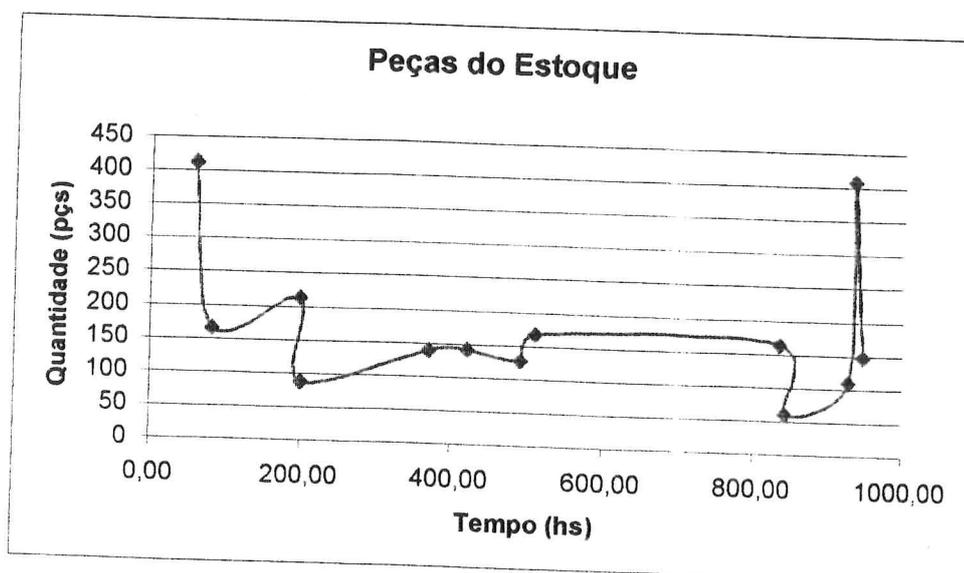


Figura 3.16 Estoque intermediário entre brunidora e lavadora

Os valores representados na figura 3.16, representam o volume de estoque entre as máquinas estimadas pela simulação, com o pior caso sendo representado por 410 peças retiradas para suprir a montagem.

De posse dos dados fornecidos pelo modelo de simulação algumas ações estão sendo analisadas para aumentar a produtividade da linha com conseqüente redução nos custos de processo que são repassados ao custo do compressor produzido.

Da definição dos estoques intermediários entre as máquinas, sendo  $B_1$  o estoque entre transfer e brunidora e  $B_2$  o valor de estoque entre brunidora e lavadora (que pode ser considerado produto acabado uma vez que a lavadora não representa restrições a produção), o estoque total necessário para suprir a montagem seria a soma de  $B_1$  com  $B_2$ , que segundo o gráfico estaria entre 1000 peças para o caso extremo, onde se trabalharia com ganhos devido a redução de  $\frac{2}{3}$  do estoque de forma a atender mais de 95% dos casos de paradas, sejam estas não esperadas ou programadas. Algumas paradas eventuais que exigiriam um valor de estoque acima das 1000 peças, seriam paradas críticas, pois o montante de peças em estoque representariam cerca de 235 minutos de produção na montagem, e a recuperação do estoque se faria no regime de horas extras no fim-de-semana.

Analisando-se a quantidade de peças que circulam em cestos, com a finalidade de transporte pelos AGVs ou pelas esteiras com destino a montagem, seria ainda possível dispensar a necessidade de uma área climatizada para armazenamento de peças, ou seja todo o estoque estaria em cestos e quantidade que circula no sistema seria a capacidade máxima possível de estoque de produtos acabados, prontos para atender a montagem, caso ela assim requisitasse.

Como uma nova possibilidade para se cumprir a meta de balanceamento da produção, uma área de armazenamento automático pode ser criado na saída da transfer, na forma de espiral, onde os blocos estariam sendo renovados constantemente, pois a política deste estoque deverá ser FIFO (primeiro a entrar, primeiro a sair). Ou seja, toda peça produzida pela transfer, que é o gargalo da produção, irá entrar no estoque intermediário e a primeira peça em estoque será disposta para a Brunidora. Este sistema de armazenagem teria capacidade para cerca de 500 unidades. No caso de uma parada da transfer as peças seriam descarregadas na brunidora e no caso de uma parada na brunidora o estoque deverá aumentar e ser acumulado nesta área.

### **3.7. Conclusão**

Como resultado fundamental deste modelo, vislumbra-se que o estoque hoje existente de cerca de 3000 peças, armazenadas em área climatizada, e em processo nos cestos, estaria dimensionado para uma parada de longa duração, que tem uma frequência de ocorrência muito pequena. Este valor poderia ser substituído por 1000 peças, o que representa ganhos consideráveis em movimentação, redução de custos inseridos para controle e armazenamento e ainda ganhos se o capital substituído fosse aplicado no mercado financeiro.

O modelo apresentado, embora pareça simples, trata com uma série de variáveis e com a combinação destas variáveis, tornando sua elaboração complexa. Das etapas de desenvolvimento do modelo, duas são de extrema importância, a coleta de dados e a validação das distribuições consideradas.

Na coleta de dados, procura-se selecionar que tipo de dado é relevante ao modelo e de que forma e em que quantidade devem ser apresentados para garantir um bom desempenho do modelo. Já a fase de validação corresponde ao grau de confiabilidade do modelo, que se verifica através da comparação com o comportamento real, no caso, das máquinas representadas. Com o comprimento rigoroso destas etapas as demais se simplificam e pode-se obter dados preciosos sobre o comportamento de qualquer sistema de manufatura.

Como forma de responder a novas perguntas inseridas durante a apresentação deste modelo aos especialistas da fábrica, uma nova versão está em fase de conclusão. Esta nova versão considera a montagem como um elemento de comportamento próprio, sujeito a paradas e com ciclo de produção inferior ao da linha de produção dos blocos. Com estes dados pretende-se avaliar a flutuação do estoque de produtos prontos, e dimensionar uma faixa na qual o volume de estoque deve ser considerado ótimo para o pronto atendimento a montagem.

## Capítulo 4: Manipulação de Materiais

### 4.1. Introdução

O sistema de movimentação de material possui uma função chave na manufatura flexível; ele interconecta os diversos processos de manufatura, máquinas ferramentas, robôs e armazenagem. Os materiais e as peças devem ser fornecidas no tempo certo para as estações corretas a fim de atingir uma utilização ótima dos recursos de produção. Com a tendência principal de customizar produtos e produção em pequenos lotes, a proliferação de modelos e peças requerem novas estratégias e métodos de distribuição de materiais.

Tipicamente, com os últimos dez anos, o número de peças que eram tratados e processados pela indústria automobilística dobrou. Um problema em particular é criado pelas várias opções de tantos modelos de produtos, que levam a uma situação onde um número grande de tipos de peças é utilizado em um número pequeno de veículos. Isto freqüentemente leva a uma situação onde uma única peça tem que ser trazida para uma estação, para estar pronta, quando chegar um carro que tenha sido configurado para as especificações do cliente.

Um processo de manufatura possui uma entrada para peças e materiais e uma saída para produtos acabados. Durante o tempo na fábrica, materiais e peças são processados em operações seqüenciais e paralelas e competem por recursos de fabricação. Os tempos de processamento para as várias operações podem diferir consideravelmente. Em adição, alguns modelos de produtos talvez tenham que passar por todas as máquinas de fabricação, enquanto outros modelos só passam por algumas delas. Isto usualmente requer um agendamento complexo e a configuração de um estoque de produtos a frente. Em geral, uma utilização completa de todos os recursos de manufatura não é possível. Com manufatura flexível os recursos estão configurados para fazer um produto sobre as seguintes condições: produção em linha, não possuir estoque, alta flexibilidade, cumprimento das datas de entrega e utilização máxima dos equipamentos. Tais requerimentos faz

necessário uma solução para toda fábrica, que pode ser fácil de fazer para uma planta nova, mas difícil para reconfigurar uma planta antiga.

O computador e o sistema de movimentação flexível são os principais meios de configuração.

O sistema de movimentação de materiais compreende armazéns; estoques em processo; transportadores; veículos de transporte; peças soltas e acopladas e manipuladores. Para automação, pode ser possível identificar os materiais e peças com a ajuda do computador para guiá-lo pela fábrica. O computador produz os parâmetros operacionais para o controle do fluxo de materiais e então este deve ser parte do plano de cooperação e do sistema de controle de fábrica.

Os algoritmos produzem os sinais de controle, que serão ajustado de acordo com as condições mencionadas anteriormente. A mais importante contribuição para sistema integrado de fluxo de materiais pode ser esperado através do uso do software, do desenvolvimento de módulos de planejamento dinâmico e sistemas de simulação.

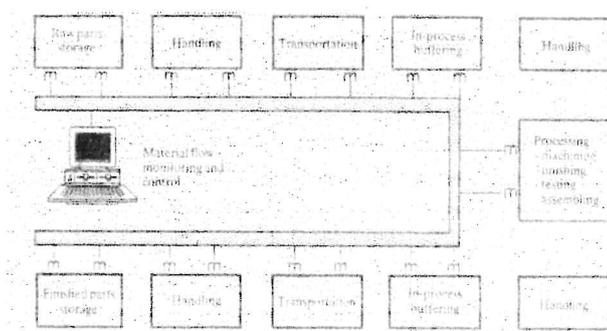
## **4.2. Conceitos de modernos de manipulação de materiais**

### **4.2.1. Um problema simples de manipulação de materiais**

Um sistema de manipulação de materiais bem projetado é fundamental para operação de uma fábrica operada por computador. Do tempo total que uma peça permanece numa fábrica, 85% deste, é tempo de espera. Em outras palavras um montante considerado de capital é desperdiçado em estoques. Com sistemas de manipulação de materiais modernos uma tentativa é feita para reduzir consideravelmente o tempo em que uma peça permanece em estoque e linearizar o fluxo de materiais através da planta, deste modo minimizando o estoque em processo e de produto acabado. Este objetivo somente pode ser alcançado com a integração sistemática de processos de

manufatura, métodos de manufatura, equipamentos de manipulação de materiais e o fluxo de informações.

A figura 4.1 mostra uma seqüência típica de operações de manipulação de materiais necessárias para trazer matéria prima do armazém para uma estação de trabalho e retornar o produto acabado para ser estocado.



**Figura 4.1** Seqüência típica de operações na fábrica

Primeiramente, matéria prima tem que ser localizada no armazém, reconhecida e preparada para ser apanhada. Isto requer a leitura da identificação da peça, da localização da peça na estante e da determinação de como a peça será pega.

Segundo, um dispositivo manipulador, como um robô, tem que estar pronto para a manipulação, e um veículo de transporte deve ser encaminhado para a posição de carga. Agora o robô tem que reconhecer a peça, pegá-la e posicioná-la em um container ou sobre um palete. Assume-se que todos os manipuladores possuem sistemas de visão.

Terceiro, o veículo deve ser guiado para a área de processamento e levado para a posição de descarga.

Quarto, um segundo dispositivo de manipulação tem que reconhecer a peça, pegá-la e carregá-la em uma máquina para processamento. Geralmente, um carregamento direto para máquina não é feito, a peça é colocada num estoque em processo.

Quinto, quando o processo termina, a peça é transportada, novamente e colocada tanto em um estoque em processo ou em veículo de transporte.

Sexto, o veículo é guiado para o estoque de peças acabadas e levado até a posição de armazenagem.

Sétimo, um manipulador é acionado e armazena a peça.

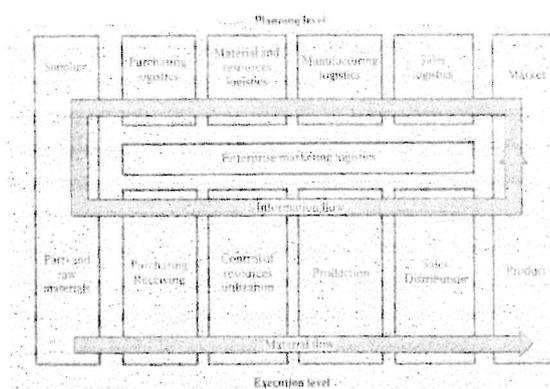
Na realidade esta cadeia de operações de manipulação é mais complexa do que foi descrito. Inúmeros sensores tem que ser acionados e uma sincronização entre as partes deve existir. Para acompanhar a movimentação da peça é necessário um sistema computacional para observar as operações de cada componente do sistema de manipulação de materiais e para verificar que a peça tem que entrar e sair devidamente de cada estação.

O projetista pode antecipar todos os detalhes que irão fazer parte do leiaute e projeto do sistema descrito. Na fábrica a maioria da manipulação de materiais e das tarefas de transporte estão intimamente ligadas e devem estar bem sintonizadas com os processos de manufatura e o fluxo de informação. Nos últimos anos o termo "logística" foi utilizado para planejamento e operação de sistemas de manufatura complexos.

#### **4.2.2. A logística de um sistema na movimentação de materiais**

O termo logística pode ser interpretado como um supervisor do fluxo de materiais, energia, informação e trabalho de uma empresa. A tarefa da logística é fornecer a quantidade correta de recursos para as várias entidades de uma empresa ou instituição no tempo correto, requisitando qualidade e custos razoáveis de forma a alcançar os objetivos impostos pela política de operação de manufatura. A figura 4.2 mostra o fluxo de informação e material de uma empresa e as várias funções da logística. Os objetivos da logística são impostos pela estratégia da firma. O consumidor é o centro do mercado. Ele determina os resultados das funções, as características, a qualidade e o preço de um produto. O mercado é influenciado por vários fatores tais como: a disponibilidade de recursos, competição, demografia, saturação, etc. De forma a operar as funções individuais da empresa, a logística deve ser aplicada a cada um destes fatores. Na figura 4.2 existe quatro subfunções da logística

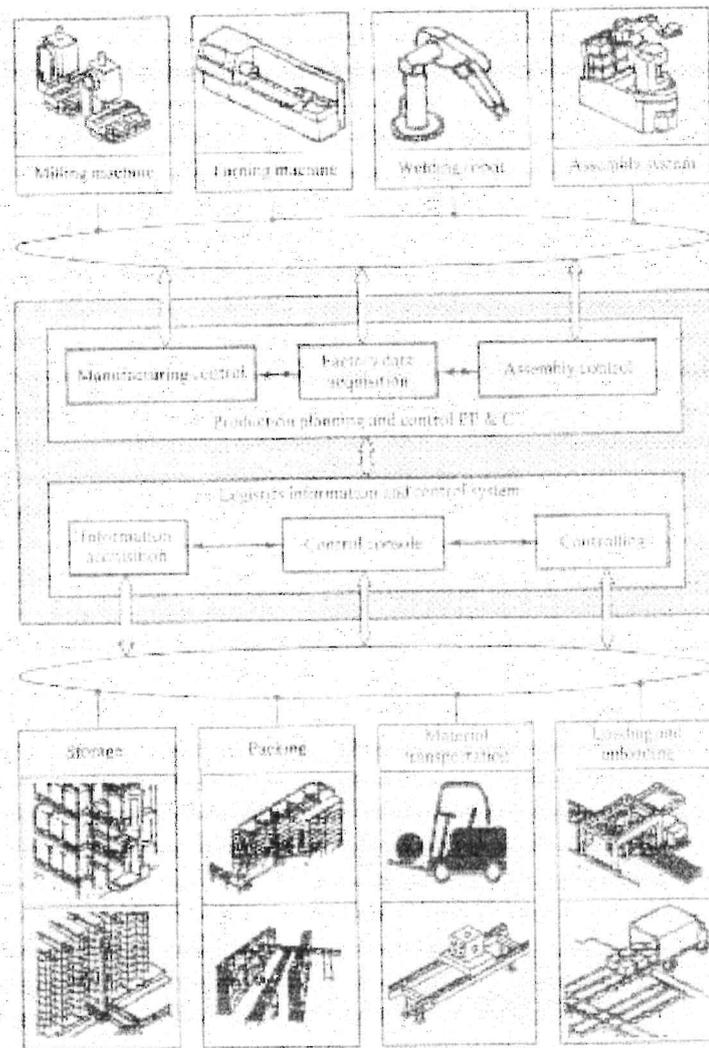
nomeadas de vendas, manufatura, gerenciamento de materiais e recursos e compras. Essas subfunções são altamente dependentes uma da outra e são coordenadas pela logística. O interesse particular do contexto deste capítulo é a logística de materiais e recursos que é responsável pelo fornecimento dos mecanismos de controle e planejamento do fluxo de materiais, peças e produtos através da planta. O planejador deve ser cuidadoso para não se concentrar na otimização do sistema de manipulação de materiais, mas também, nos objetos da fábrica que ele deve controlar. Parar um fluxo eficiente de materiais, muitos fatores devem ser considerados, tais como: o leiaute da fábrica, tamanho de lote, mix de produtos, o arranjo dos recursos de produção e muitos outros.



**Figura 4.2 Logística de mercado de uma empresa**

A logística só pode ser aplicada com sucesso se existe um sistema de controle e planejamento de produção eficiente disponível, o qual fornece o planejamento de processos, o plano mestre de produção, o planejamento das necessidades de materiais e os planos para os recursos de manufatura. O planejamento geralmente é feito sobre um longo, médio e curto períodos de tempo. Uma função adicional é o balanceamento dos equipamentos e da linha de montagem.

A operação, os recursos de manufatura, o progresso da produção e o fluxo de materiais pela planta é monitorado por um sistema de aquisição de dados. O último é uma parte importante de um sistema de manipulação de materiais eficiente e deve ser integrada no controle da planta. A figura 4.3 mostra um sistema de logística integrado e um sistema de controle produção.



**Figura 4.3 Integração da logística, produção e controle**

O sistema combina o fluxo de dados administrativos e técnicos descritos, seus objetivos são:

- A interconecção do fluxo de informação com o fluxo de material.
- A manufatura automática de uma família de produtos sobre o controle do computador.
- A provisão de todas as peças e informações no tempo exato em que são necessárias.
- Otimização imediata da produção sobre as ordens de produção remanescentes.

As estratégias de manufatura as quais podem ser utilizadas para perseguir estes objetivos serão brevemente apresentadas nas seções seguintes.

### **4.2.3. Estratégias de Manipulação de Materiais**

O fluxo de materiais através de um sistema de manufatura pode ser planejado e controlado de acordo com várias estratégias. Os fatores principais que afetam as estratégias são os conceitos de manufatura e os objetivos gerenciais.

O objetivo de quase todas as estratégias para manipulação de materiais é o de operar com uma quantidade mínima de estoque. Os métodos mais importantes para o planejamento da movimentação de materiais são o sistema de agendamento e controle dos requisitos de materiais (MRP) e a filosofia just-in-time (JIT) de controle e planejamento da produção.

### **4.2.4. Controlando o fluxo de materiais**

- *Arquitetura computacional para manipulação de materiais*

O controle das operações de manipulação de materiais é um módulo do sistema computacional da empresa. Em grandes plantas de manufatura a movimentação de materiais é extremamente complexa e um sistema de controle distribuído se faz necessário para controlar esta função. O controle de materiais deve possuir ligações com os computadores locais das máquinas ferramentas, robôs e sensores, formando uma rede para guiar o material através da fábrica. Esta rede tem duas camadas, a de planejamento e sincronização e a de operação.

O computador de planejamento deve ser capaz de planejar, para qualquer peça a ser produzida, todas as operações de manipulação de materiais desejadas.

Os componentes de controle da camada de operação podem ter várias estruturas. Com um sistema pequeno, interfaces são providenciadas para conexão direta com os equipamentos de manipulação de materiais. Com grandes instalações, controladores programáveis ou computadores de processo são utilizados para cada função.

Para manufaturas flexíveis, é necessário que o programa de controle e parâmetros possam ser modificados em tempo real dependendo do que está sendo produzido.

- *Dispositivos de entrada e saída*

Para a iniciação e execução da movimentação de materiais ou para expedição de uma operação, vários periféricos, como, sensores e dispositivos de codificação são utilizados. A seleção destes dispositivos dependem da aplicação a qual se destinam e do ambiente da planta em que serão dispostos. Um dos maiores problemas na manipulação de materiais é o reconhecimento e acompanhamento do material que é transportado pela fábrica manualmente, por veículos ou esteiras, para isto são gerados dados físicos. De interesse particular para a manufatura flexível são os dados de entrada automáticos e dispositivos de processamento que fazem a movimentação de materiais independentes dos erros humanos.

Na maioria das operações de manufatura o acompanhamento e a requisição de material é feita em conjunto com sistema de aquisição de dados da fábrica empregado para o controle da produção. Então, o computador possui duas funções, a de produção e de controle de materiais. Ambas as funções são relacionadas uma com a outra e são necessárias para o monitoramento e o progresso de uma ordem de produção. Durante o projeto do sistema de aquisição de dados deve-se ter certeza de que ambas as funções de controle estão coordenadas e supridas com suas informações relevantes.

### **4.3. Dispositivos para manipulação de materiais**

Os equipamentos utilizados para manipulação de materiais são numerosos e serão apresentados somente algumas classe de esteiras e veículos de transporte. De forma a utilizar equipamentos de manipulação de materiais em conjunto com computadores, devem ser fornecidos sensores e controladores aos quais podem ser eletricamente conectados com canais de comunicação.

#### **4.3.1. Esteiras**

Esteiras são os dispositivos básicos de transportes encontrados em quase toda a fábrica. Eles interligam várias estações de trabalho para obter os princípios de fluxo linear de peças. Esteiras típicas são as de cinto, rolo, correia e outras. Sistemas de esteiras podem ser ligadas por mesas giratórias e curvas.

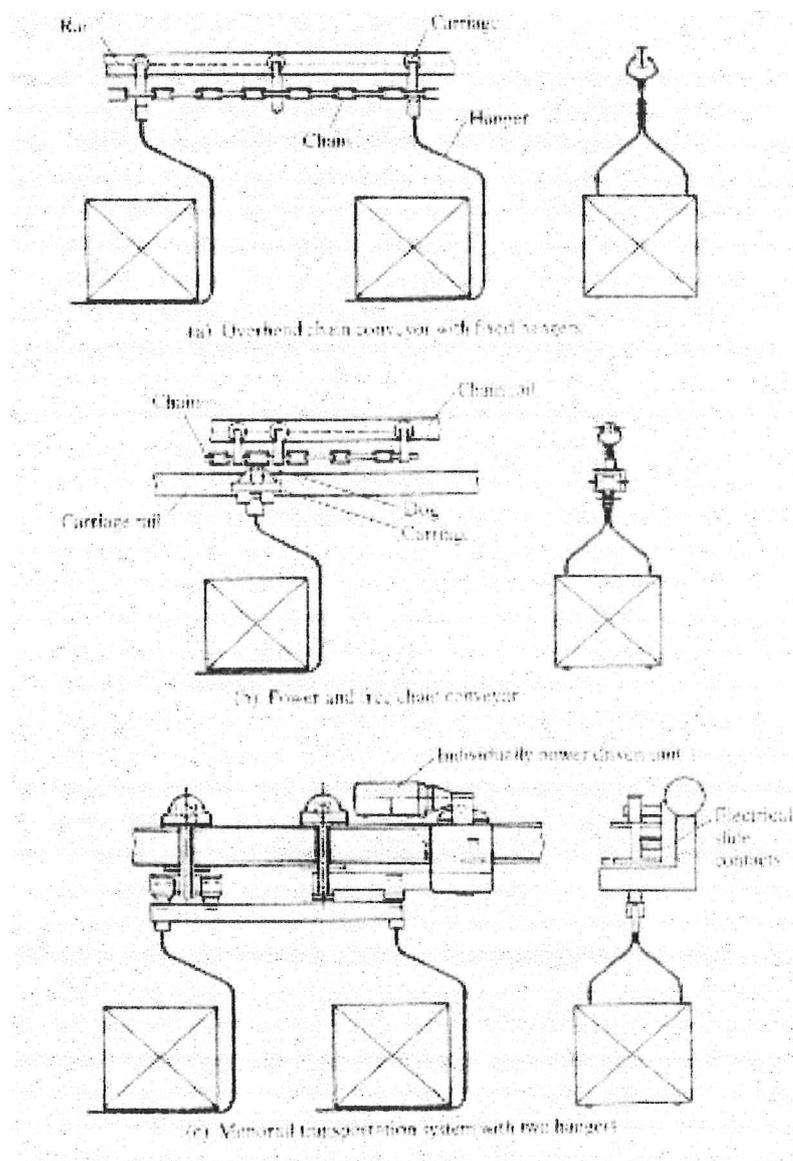
Um dos problemas de sistemas de esteiras é a sincronização com fluxo em produção.

#### **4.3.2. Sistemas de transportes de materiais suspensos**

Existem três princípios utilizados conforme mostra a figura 4.4 .

Esteiras suspensas com gancha fixa são sistemas de baixo custo e por essa razão são amplamente utilizada na indústria. O maior problema com estes equipamentos é que as ganchas são fixas e não podem ser redirecionadas para outras trilhas do transportador. A sincronização na entrega do material é possível, no entanto, operações irregulares com o transportador podem levar a problemas como por exemplo, o balanço das ganchas, causando má identificação das peças transportadas se somente simples

barreiras de luzes são utilizadas e não barreiras físicas, como chaves de fim-de-curso. A corrente é movimentada por um motor central.



**Figura 4.4 Sistemas de transporte suspensos**

Nos sistemas *monorail* os transportadores são movimentados por seus próprios motores. A energia é levada aos transportadores por contatos corrediços. A motorização individual faz o sistema ser muito versátil e adaptável a variações de produção. Os transportadores podem ser equipados com elevadores dando ao sistema um grau de liberdade adicional na vertical.

*Power & Free* é exclusivamente um sistema transportador flexível projetado para dar a fábrica maior controle sobre suas operações. Pode acumular cargas, interromper e reencaminhar produtos ao longo do sistema inteiro, assim como servir como local para armazenagem em processo. Este conceito permite a fábrica lidar com maiores volumes de material a custos substancialmente reduzidos, por unidade. Além disso, maior utilização de espaço de chão-de-fábrica pode ser aproveitado porque o movimento dos produtos é suspenso, onde o congestionamento é mínimo.

Um *Power & Free* pode acelerar a velocidade de produção para auxiliar até mesmo em acúmulos de produção. Cada carregador pode ser parado ou pode ser redirecionado a áreas de trabalho desejadas sem interromper o fluxo ou a sucessão de materiais. Pode subir inclinações, fazer curvas e até mesmo pode acomodar operações laterais. Linhas acumuladoras podem ser adicionadas ao sistema para acomodar operações relacionadas, como o tempo de secagem em uma linha de pintura. O sistema pode ser ampliado facilmente para acomodar adições ou mudanças em sua operação.

Um transportador *Power & Free* é adaptável. Pode conectar com virtualmente qualquer tipo de equipamento de manipulação de material. É perfeitamente transferido ao controle de computador e empresta até maior flexibilidade ao controle.

O transportador foi projetado para proporcionar maior flexibilidade necessária para lidar com inclinações, voltas, acumulação, assim como inúmeras capacidades adicionais. É expansível para acomodar mudanças em seu esquema de manipulação de material. Em um único anel do sistema de transportador, carregadores individuais podem acumular produtos a virtualmente qualquer ponto dentro do sistema. O anel pode acomodar qualquer número de postos de trabalho onde carregadores podem acumular ou podem parar sem dificultar a sucessão ou fluxo de materiais. Quando um carregador é parado, carregadores subseqüentes são acumulados atrás deste; porém, os carregadores precedentes no transportador continuam se movendo ininterruptamente. Em um sistema complexo, envolvendo carregadores codificados, o fluxo de produto ao longo do sistema inteiro pode ser

eficazmente controlado da montagem à expedição, como no exemplo descrito abaixo.

1. Depois de ser carregado no transportador, os produtos são carregados a várias linhas de montagem, dependendo do código de destino no transportador.
2. Da montagem, carregadores convergem sobre uma única linha onde eles poderiam ser segregados pelo tipo. Carregadores são indexados pelo tipo de produto.
3. Na área de testes, operadores testam o desempenho do produto. São codificados produtos que satisfazem todas as exigências de teste para prosseguir pela pintura e forno de secagem. Produtos que fracassaram no teste podem ser desviados para a área de conserto onde o produto é consertado e reindexado.
4. Carregadores prosseguem para as estações de pintura e então para os fornos de secagem onde a capacidade de acumulação do transportador permite que os carregadores fiquem o mais próximo possível. Quanto mais próximo os carregadores estiverem, menor será a área necessária dentro do forno. Reduzindo o tamanho do forno, o que obviamente resulta em uma operação mais eficiente e econômica.
5. Depois de pintar e secar, todos os carregadores se dirigem a ao empacotamento e expedição. Neste sistema típico todo carregador é codificado para atravessar o controle de qualidade para inspeção final.
6. Unidades são acumuladas e são empacotadas para remessa. Todos os carregadores empacotados são levados ao armazém, onde são separados pelo tipo do produto.

7. Quando requisitado, um produto particular é liberado do armazém e é levado a expedição. O produto acabado é liberado por um dispositivo automático onde o produto é removido do carregador, que uma vez vazio retorna para a área de carregamento onde se acumulam e esperam nova carga.

Um sistema *Power & Free* pode ser facilmente ser adaptado para incorporar capacidades adicionais e se ajustar a exigências particulares. Estas características adicionais ampliam suas capacidades, e cria um fluxo mais eficiente de material para qualquer número de postos de trabalho designados.

Trocas são muito freqüentes em uma operação industrial efetiva. Carregadores devem ser transferidos a vários postos de trabalho, anéis de armazenamento, ou para sistemas completamente diferentes. O *Power & Free* realiza estas transferências de modo automático (elétrico ou pneumático), ou manualmente, operado por interruptores. Carregadores codificados automaticamente ativam os interruptores para permitir que os carregadores seja redirecionados para as áreas desejadas.

Acumulação em tempo real é particularmente importante em aplicações onde armazenamento é requerido em processo. Acumulação on-line permite a operação industrial utilizar ambas, as linhas principais e linhas secundárias para armazenamento. Carregadores acumulados podem ser chamados quando necessário, colocados na linha de produção, e direcionados ao posto de trabalho adequado.

A velocidade na cadeia pode ser variada, utilizando dispositivos diferentes para alimentar áreas específicas do transportador. As cadeias utilizadas em operações de montagem, lavagem e pintura devem ser executadas a velocidade mais lenta, quando comparado às velocidades de cadeias usadas para transportar material entre a área de armazenamento e os processos. Velocidades variáveis limitam a quantidade da cadeia que é exposta ao calor, substâncias químicas e outro produtos que poderiam reduzir a vida do transportador.

Um acompanhamento por computador é facilmente aplicado em um sistema *Power & Free*. A tendência de hoje de controle por computador que

envolve microprocessadores, minicomputadores e microcomputadores estão provendo benefícios em tempo real. Carregadores codificados passam através de leitores que automaticamente identificam a carga, destino, rota e funções de carga e descarga. Estas informações são transmitidas ao computador que, em troca, dirige a carga para otimizar o fluxo de material e taxas de produção. O resultado final é a melhor administração e controle sobre o fluxo de materiais e operações.

O transportador consiste de dois trilhos independentes: um trilho motorizado montado acima de um trilho livre. Ambos são unidos por fixadores espaçados uniformemente. A força é transmitida por puxadores (*dogs*) na cadeia de força que se movimentam dentro do trilho. Os carregadores permanecem no trilho livre por todo o tempo. Quando engatado com o puxador, o carregador se movimenta na mesma velocidade da cadeia motorizada.

Carregadores se acumulam automaticamente quando um único carregador pára e os puxadores se encontram com o came do puxador traseiro, o came eleva o puxador da cadeia de força, desconectando-o do trilho de força. Quando um carregador é liberado, este é pego pelo primeiro puxador disponível e entra novamente no sistema. Carregadores são movimentados pelo trilho de força e não por gravidade.

#### **4.4. Veículos de transporte de materiais**

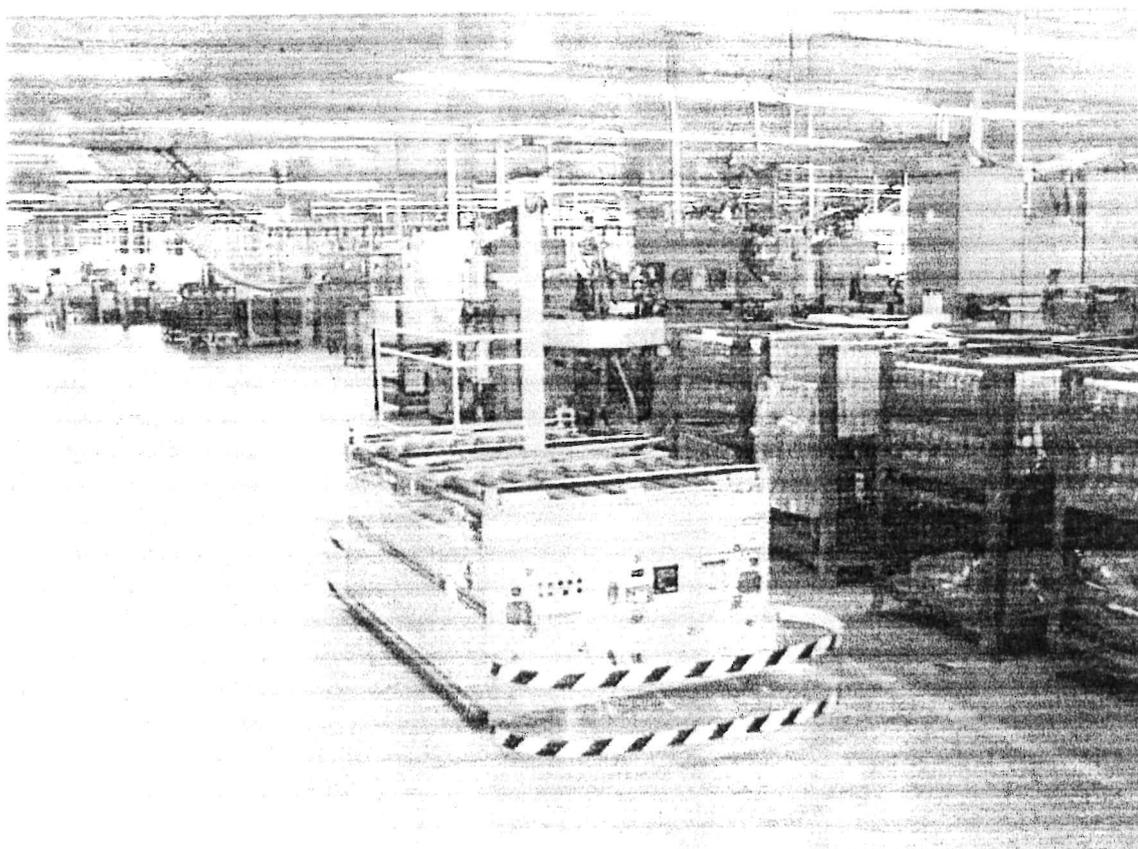
##### **4.4.1. Sistemas de Veículos Guiados Automaticamente - AGVS**

Quando se trata de conseguir uma automação mais flexível e uma maior produção, com freqüência se encontram novas possibilidades de racionalização graças a otimização e incremento de tecnologia dos sistemas de transporte de todas as áreas de produção, desde a entrada de matéria prima, passando pela fabricação, montagem e controle de qualidade, até a entrega e armazenamento intermediário.

Os veículos robotizados permitem a conexão de células e linhas de fabricação, servindo, ao mesmo tempo, como postos de montagem móveis e

conferindo um caráter mais flexível e racional ao fluxo de materiais dentro da empresa. Os sistemas de transporte automatizados podem ser integrados a sistemas já existentes. Algumas vantagens dos veículos robotizados são:

- Máxima flexibilidade através da escolha da tecnologia de direção com um único computador de controle: indutivo, ótico ou controlado por computador.
- Podem ser empregadas tecnologias de comunicação como : transmissão de dados por rádio, infravermelho ou "loops" indutivos, ou ainda combinações destes sistemas.
- A qualquer momento podem ser introduzidas modificações, a fim de atender novos requisitos de movimentação de materiais.
- Plenamente integráveis a sistemas de transporte e configurações de fabricação já existentes.
- Elevada tecnologia de processamento de dados, conectando todos os sistemas parciais dentro das áreas de produção e armazenagem.



**Figura 4.5 AGV de rolos na Embraco**

#### **4.4.2. Sistema de direção híbrido**

O veículo de transporte automático (AGV) está equipado com um sistema de controle capaz de seguir pistas ativas e passivas. Sistemas de direção indutivos ou óticos são utilizados, bem como, sistemas de direção sem fio (através de rotas armazenadas em computadores), ou através de laser.

O veículo pode mudar de um modo de direção para outro em uma mesma instalação. Esta mudança é efetuada através de ordens específicas provenientes do sistema de controle.

#### **4.4.3. Construção Modular**

Módulos padronizados permitem uma série de conceitos de carrocerias diferentes. Módulos de carga adaptados a cada tipo de aplicação, permitem individualizar a movimentação de materiais com o desejado grau de automação.

O sistema de controle é desenhado para permitir diversas possibilidades de utilização o que, dependendo dos requisitos, permite que todas as configurações podem ser consideradas com um alto grau de compatibilidade, desde os sistemas mais simples até os mais complexos.

#### **4.4.4. Planejamento e Simulação**

Os leiautes dos sistemas de AGVs são impressos no CAD (*Computer Integrated Design*) e submetidos como entrada para modelos especiais de simulação, a fim de serem realizados estudos visando a flexibilidade e otimização dos sistemas de controle.

O objetivo é testar todas as possibilidades de influência até chegar a uma solução logística precisa. A simulação também permite a determinação do número de veículos necessários na instalação e os roteiros de carga e descarga a serem considerados. Através da utilização do CAD e da simulação, os softwares do sistema (isto é programas para os Controladores Lógico

Programáveis - CLPs) podem ser checados funcionalmente, contribuindo para a redução dos custos de desenvolvimento.

#### 4.4.5. A Trajetória

Depois de muita pesquisa foi desenvolvido um sistema que oferece uma trajetória indutiva. A indução é proveniente de cabos elétricos instalados no chão, abaixo da superfície, que não provoca problemas em relação ao piso e nem a influências externas, tanto construção nova, como na reconstrução. Esta linha de cabos produz um campo magnético concentrado, que é captado pelo AGV gerando uma indução magnética que locomove o veículo. Um sistema de freqüências evita os problemas em cruzamentos, assim como em trocas de trajetórias. Determinadas trajetórias como curvas complexas, cruzamentos múltiplos e bifurcações são feitas fora da linha dos cabos sem ocasionar problemas. O mesmo acontece em saídas e entradas em estações. A vantagem é a flexibilidade das trajetórias do sistema. O sistema indutivo somado com os cálculos direcionais possibilitam trajetórias organizadas e funcionais.

Para sua orientação, o AGV precisa saber em que posição se encontra no percurso, para isso são instalados elementos ativos ou passivos instalados no chão. Nos elementos ativos se trata de um elemento de dados codificados (Transponder), que na passagem do veículo é energizado informando seu código. O veículo lê o número no seu programa e assim reconhece sua posição. Os elementos passivos são simplesmente elementos magnéticos permanentes, que são interpretados absolutamente como pontos de parada. Normalmente os dois sistemas são instalados para aumentar a confiabilidade e utilização do sistema. Também são instalados pontos de parada virtuais baseados em trajetórias medidas.

#### 4.4.6. Sistema de Controle

Computadores centrais ou distribuídos monitoram e controlam as ordens de produção assim como os AGVs, além dos sistemas de armazenagem e transportadores periféricos. Em essência o PC (*Personal Computer*) tem o propósito de visualização do sistema, possibilitando operações de emergência que permitem um modo autônomo de funcionamento.

Todos os computadores de processo são conectados aos computadores principais através de uma rede local (por exemplo ETHERNET). O fluxo de dados é um componente do sistema de controle dos AGVs, consistindo de concentradores de dados, modems e geradores de frequência.

#### 4.4.7. Sistema de controle dos veículos

Os veículos robotizados estão equipados com o sistema de controle, o qual permite sistemas de direção ativos, passivos e sem fio, assim como a combinação destes. A comunicação de dados com infravermelho, rádio ou indutiva está disponível para o intercâmbio de informações entre os veículos e o sistema de controle.

O sistema de controle dos veículos é desenhado em uma tecnologia 19"; todos os componentes individuais como: computadores de bordo, módulos de comunicação, módulos sensores de direção, etc., são desenvolvidos em uma arquitetura "plug-in". O controle tem um sistema de bus padronizado (VME-bus), o qual, devido a sua aplicação versátil, atende as mais extremas demandas.

O computador de comunicação, controle de movimentação e direção assume todas as funções de controle do veículo. O equipamento padrão de controle inclui conversores de tensão para a alimentação de energia de todos os elementos de controle, assim como, os componentes para o sistema de direção e transmissão de dados.

#### **4.4.8. Sistemas de Navegação**

A configuração modular do sistema permite a utilização de diferentes sistemas de direção bem como a combinação de diferentes sistemas.

#### **4.4.9. Rota Ativa**

O sistema de direção indutiva com fios instalados no chão é ainda considerado uma boa solução para funções confiáveis.

A antena guia detecta o campo magnético e as frequências existentes no fio. Vantagens do sistema: o sistema de transmissão de dados pode ser instalado no mesmo caminho do fio de direção.

#### **4.4.10. Rota Passiva**

Um sistema de navegação ótica onde não seja possível a instalação de fios no chão. O sistema ótico é vantajoso quando se possui mudanças frequentes de leiaute, porém o tráfico de outros veículos (ex.: empilhadeiras) deve ser restringido. O sistema consiste em lâminas coladas ao solo, delineando o caminho a ser seguido. Uma câmera acoplada ao veículo é responsável pelo reconhecimento.

#### **4.4.11. Rota Virtual (Navegação LASER)**

Os AGVs se orientam através do campo periférico, não necessitando de nenhuma instalação adicional no chão.

Este é o "estado da arte" em sistemas de navegação.

Computadores são utilizados para controlar as curvas e mudanças de percurso no sistema. O acoplamento com as estações de transferência de componentes também pode ser realizado sem fio, permitindo ao próprio usuário do sistema a modificação de rotas quando desejado. A transcrição da rota é armazenada no computador através de comprimentos de caminhos e

ângulos de direção, os quais se tornam disponíveis ao sistema de direcionamento do veículo através de transmissores.

A tabela de dados do caminho pode ser diretamente gravada no computador de bordo do veículo, o que possibilita a reprogramação rápida do caminho, sem interrupções significativas no processo produtivo.

#### **4.4.12. Comunicação**

O intercâmbio contínuo de dados entre os veículos e o sistema de controle é necessário para a determinação da localização, transmissão de ordens e dados de "status".

As seguintes técnicas de comunicação são utilizadas:

- *Transmissão Indutiva de Dados*

A comunicação é realizada através de "loops" instalados no mesmo caminho utilizado em sistemas guiados por fio. É a solução mais econômica para sistemas com direção a fio.

- *Comunicação com Rádio ou Infravermelho*

É comumente utilizada com sistemas guiados opticamente ou com navegação LASER. Infravermelho ou transmissores de ondas curtas fazem a comunicação com os veículos. A aplicação destes sistemas é ainda hoje limitada, devido a disponibilidade de freqüências de rádio disponíveis ou devido a extensa rede de transmissores de infravermelho necessária para a perfeita comunicação.

#### **4.4.13. Baterias (Tipos)**

Dependendo da aplicação, é selecionada a técnica correta de carga de baterias: carga no final de turno, carga intermediária ao longo do percurso, troca de baterias, ou uma combinação destes métodos. Baterias de NiCd ou

chumbo são utilizados, levando-se em consideração o tamanho do veículo e a intensidade de uso do sistema.

A tendência é a utilização de baterias que não necessitem de manutenção freqüente.

Altas correntes de carga podem ser usadas em baterias de NiCd resultando em cargas rápidas de baterias. Elas são utilizadas em operações em 3 turnos, com tempos de parada definidos em locais pré-estabelecidos para o processo de carga automática. Baterias modernas(chumbo), livres de manutenção, são usadas quando há espaço disponível nos veículos e quando, devido a grande utilização do sistema, não existe tempo suficiente para a carga.

#### **4.4.14. Movimentação de Cargas**

O controle dos veículos robotizados permite o uso de qualquer sistema de movimentação de cargas como: mesas elevatórias e esteiras de rolos para o manuseio através de arrastamento, basculantes e sistemas de elevação com garfos para produtos paletizados. Plataformas de trabalho ajustadas individualmente permitem as melhores condições ergonômicas quando o AGV é utilizado como estação móvel de trabalho.

#### **4.4.15. Aplicações**

- AGVs otimizando produção, montagem e distribuição.
- Nova Logística de produção em montagem.
- AGVs na Indústria eletrônica.
- AGVs em Indústria de máquinas de impressão.
- AGVs em gráficas.
- AGVs conectando células de produção para maior flexibilidade.
- Veículos robotizados em áreas de montagem.
- AGVs em logística.
- Produção "Just-In-Time" em uma fábrica de assentos de carros.

Os veículos robotizados permitem o incremento considerável na automação de todas as áreas produtivas. Eles otimizam a organização da planta fabril através da conexão da tecnologia de transporte e controle com todas as áreas através do mais alto grau de flexibilidade. Integrados diretamente nos processos já existentes, os AGVs podem criar novas estruturas de trabalho, automatizar linhas de montagem e permitir maior diversidade nos processos produtivos.

Em áreas de estocagem, veículos robotizados simplificam o recebimento, despacho e distribuição. Em contraste com sistemas estacionários de esteiras, nenhuma área é obstruída, mantendo corredores abertos. Os AGVs podem ser conectados a todos os sistemas de esteiras e o desenho descentralizado do sistema de controle assegura um alto grau de disponibilidade com intercâmbio de dados entre os sistemas de computadores.

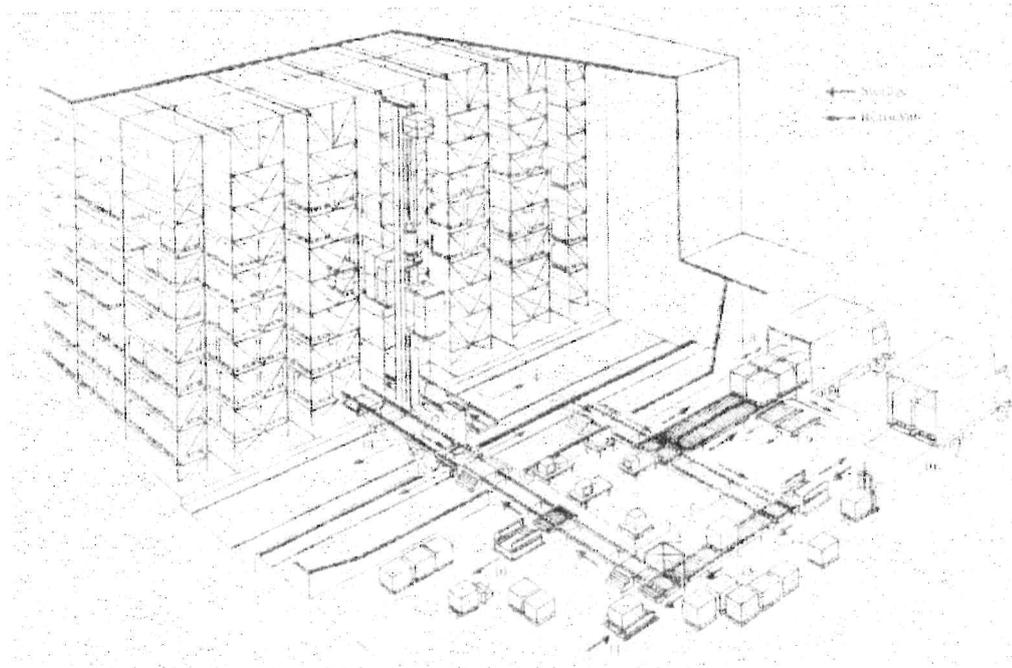
#### **4.5. Sistemas de Armazenamento**

Na maioria dos sistemas de manufatura, material e peças devem ser mantidas em estoque porque operações just-in-time não são possíveis. Lugares para armazenamento devem ser disponibilizados para matéria prima, peças e o produto acabado. Uma operação de armazenagem deve ser manual, semi – automática ou completamente automática dependendo do grau de automação disponível. O projeto da área de armazenagem, estantes para armazenagem, veículos para transporte de materiais e dispositivos de armazenagem dependem do produto, da filosofia de gerenciamento, dos requerimentos de segurança e muitos outros fatores. Normalmente, o sistema de transporte de materiais utilizado para produção é diretamente interfaciado com o armazém, por esta razão, os mesmos dispositivos de transporte de material são utilizados no armazém assim como na fábrica.

O armazenamento pode ser feito de acordo com várias estratégias:

- Materiais freqüentemente utilizados podem ser armazenados próximo ao sistema de carga e descarga.
- Material estratégico pode ser armazenado em baias paralelas para assegurar sua disponibilidade no caso de uma falha no mecanismo de armazenamento
- Materiais de acordo com a idade serão marcados no computador retirados na ordem correta para assegurar que não estará danificado quando for requisitado.
- Algoritmos podem ser construídos de forma a distribuir estrategicamente os materiais, tal que, peças que pertençam a mesma ordem estão localizadas próximas umas das outras.
- Materiais de risco podem ser armazenadas em locais especiais.

O computador do armazém controla o estoque e também tem uma conexão com computador local com qual por exemplo , controla o movimento dos guindastes de empilhamento. Conseqüentemente as ordens diretas para armazenar e retirar peças podem ser dadas aos guindastes de empilhamento. Figura 4.6 mostra um de armazém automático para armazenar peças paletizadas. Um ciclo de armazém típico pode ser como o seguinte. Paletes são entregues por um caminhão para a área de descarga (8) . Uma área de estoque intermediária é disponibilizado para materiais que não podem ser manipulados imediatamente (9). Os paletes são movimentados ao longo de uma esteira de roletes e esteiras de cinto para a estação de checagem dos paletes (2) para o controle das dimensões externas. Depois disso, os paletes são identificados pela estação (3) e movimentados para área de empilhamento (5). O guindaste de empilhamento (6) pega o palete e se movimenta posicionando-se na baia selecionada. O guindaste então se move ao longo da baia e armazena a peça no local apropriado. O círculo de armazenagem é supervisionado por um sistema de controle por computador. Os paletes podem ser removidos de maneira similar.



**Figura 4.6 Um armazém automático para paletização de peças**

#### **4.6. Conclusão**

Sistemas de manipulação de materiais modernos se apresentam como uma necessidade para as fábricas com o objetivo de reduzir custos, aumentar a produtividade e permitir melhor controle da produção, consequentemente aumentar a sua competitividade no mercado mundial.

De posse do conhecimento das diversas tecnologias para movimentação e armazenagem de peças e componentes procurou-se determinar quais os equipamentos que melhor se adequaria as necessidades de movimentação para os caso da Embraco. Este assunto será apresentado nos capítulos a seguir.

## **Capítulo 5: Proposta de Implantação de um Sistema de Transporte e de Alteração na Área de Armazenamento e Expedição da Embraco**

### **5.1. Introdução**

Este projeto tem por objetivo elaborar uma proposta para automatização da área de expedição e armazenagem da Embraco(Difipro – Divisão Física de Produtos), bem como das partes de movimentação e transporte de compressores entre os blocos onde são produzidos (blocos 01, 14 e 28) e a mesma. Nesta proposta serão levados em consideração itens com, a viabilidade econômica, o dimensionamento físico, a especificação de equipamentos para automação, assim com seu funcionamento e lógica de operação.

### **5.2. Descrição do sistema atual**

A Empresa Brasileira de Compressores S.A. (Embraco) está dividida em cinco módulos principais, sendo quatro de produção (blocos 1, 8, 14 e 28) e um bloco de armazenamento e expedição de compressores (bloco 15).

O bloco 1 é responsável por cerca de 50% da produção de compressores da Embraco (linhas EG e EF), e vem sendo alvo de mudanças recentes na tentativa de se automatizar o processo de fabricação. Já possui hoje, sendo utilizados em grande escala, no que se refere a sistemas de movimentação, transportadores aéreo, AGVS e esteiras transportadoras. Todos esses sistemas são controlados através de controladores lógicos

programáveis (CLP), que operam sobre dezenas de dispositivos de entrada e saída, sensores e manipuladores.

O bloco 8 é responsável pela usinagem de dispositivos do compressor, tais como pistão, bloco e placa válvula. Os elementos aqui produzidos são transportados para os demais blocos por um transportador aéreo.

O bloco 14 é responsável pela fabricação do modelo mais antigo dos compressores ainda produzidos pela Embraco, o PW, mas também produz modelos de tecnologia recente, os EM. A produção neste bloco se faz em menor escala que os demais blocos.

O bloco 28, conhecido também como fábrica II ou fábrica modelo, é responsável por cerca de 30% da produção da Embraco. Este módulo está distribuído em um leiaute celular, possui elevado grau de automação, com larga utilização de robôs e AGVs.

O bloco 15, ou Divisão Física de Produtos, Difipro, é responsável pelo recebimento, armazenamento e distribuição dos paletes de compressores, cada palete cheio, com dimensões em 810 x 1040 x 940 mm, possui em média 80 compressores. Este bloco é também responsável pela montagem de componentes elétricos no compressor, segundo a requisição do cliente.

Atualmente todos os compressores fabricados são paletizados, colocados em paletes de madeira, e arqueados, onde há passagem de fita metálica ao redor do palete para sua fixação e transporte, de forma semi-automática na saída das linhas de montagem. Os paletes montados são transportados por tratores, no interior de vagões, da montagem final de cada bloco até a Difipro, onde são armazenados ou retrabalhados, para posterior expedição.

A forma de transporte e armazenamentos atual possui as seguintes desvantagens e tendências:

- Custos elevados de transporte e movimentação de paletes entre os blocos e a Difipro e na própria Difipro com armazenagem. Transporte este realizado por empilhadeiras.
- Índice de acidentes com empilhadeiras elevado.

- Abertura dos paletes para montagem de acessórios elétricos na Difipro, uma vez que os compressores deverão ser novamente paletizados e arqueados, implicando no aumento de custos. A previsão de compressores com montagem de acessórios deverá já no próximo ano crescer de 600.000 unidades/ano para 5.500.000 unidades/ano de um total de 13.000.000 de unidades fabricadas.
- Tendência do mercado em substituir a fita metálica utilizada para o arqueamento dos paletes por fita plástica. A Embraco já possui uma máquina automática para o arqueamento com fita plástica, com capacidade de suprir toda a produção atual da fábrica.
- Necessidade de se utilizar processo de plastificação em paletes de compressores avulsos, para aumentar a confiabilidade da embalagem uma vez que várias unidades são exportadas e fazem a travessia para seu destino em containers marítimos, ou mesmo por transporte rodoviário nacional onde as vibrações acabam por provocar danos nos compressores.

### **5.3. Descrição das alternativas**

Através do conhecimento de tecnologias existentes no mercado para a automação de sistemas de manufatura e baseado nos estudos sendo realizados em outras áreas foram selecionados equipamentos e condições para composição de alternativas de melhoria nos sistemas de paletização, arqueamento, transporte e armazenagem da Embraco.

#### **5.3.1. Paletização**

A paletização pode ser feita de duas formas:

- *Manual* – Como realizado atualmente, os compressores prontos para consumo são retirados das linhas de montagem e inseridos em paletes de madeira com auxílio de um dispositivo pneumático.

- *Automática* – Através de um manipulador, elétrico ou pneumático. Só poderá ser automático se o palete possuir precisão dimensional adequada, para garantir o correto posicionamento dos compressores nos paletes, para isso seria necessário o desenvolvimento de uma nova embalagem, possivelmente de poliestileno (isopor).

### 5.3.2. Arqueamento

Arqueamento é o fechamento dos paletes para garantir segurança e proteção no transporte, que pode ser feito utilizando três tipos distintos de equipamento dependendo do material da fita utilizado para a finalidade.

- *Fita Metálica*

Se for utilizada fita metálica o arqueamento pode ser realizado de forma manual, como se faz hoje na Difipro para o arqueamento de paletes de compressores com componentes elétricos. De forma semi-automática, forma esta explorada em todos os blocos de produção onde cabe ao operador a colocação de cantoneiras e o fechamento do palete, e finalmente de forma automática que irá requerer investimento em equipamento.

- *Fita Plástica*

A utilização de fita plástica é uma necessidade requerida por alguns dos mais importantes clientes da Embraco, principalmente no exterior. O arqueamento com fita plástica é mais robusto devido a capacidade de “memória da fita”, isto é, quando paletes de compressores são empilhados a deformação na madeira

causa um relaxamento na tensão da fita. Quando os paletes são removidos a fita retorna a suas características de tensão anterior, o que já não ocorre com a fita metálica que perde sua tensão durante este processo. A utilização da fita plástica pode ser feita tanto de forma manual, semi-automática e completamente automática. Para a execução da forma automática a Embraco possui uma máquina de arqueamento capaz de atender toda a produção diária da empresa com excedente. A utilização de fita plástica pela Embraco encontra-se em processo de certificação pelo departamento de engenharia de produtos e deve em breve estar sendo utilizada.

- *Schrink*

O processo *schrink* (do inglês encolhimento) consiste da aplicação de um filme plástico sobre o material e posterior retração do filme por aquecimento. Este processo, se aplicado na Embraco visa a substituição de alguns componentes da embalagem atual e tem como principal característica impedir a deterioração da embalagem de madeira durante o transporte e conseqüentemente evitar algum dano ao compressor.

O processo seria designado primeiramente para embalar paletes de compressores avulsos montados em caixas de papelão, substituir caixas de papelão grandes e para paletes provenientes da montagem de acessórios. Em um segundo estágio viria a substituir por completo a necessidade de arqueamento de paletes conforme visto anteriormente.

### **5.3.3. Transporte entre a montagem final e a Difipro.**

Dentre as formas de transporte analisadas estão:

- *Tratores (rebocador) com comboio de carretas:*

É um equipamento indicado para transporte além de 100m, face sua elevada produtividade. Quando usado na movimentação interna é um veículo de pequenas dimensões, com motor elétrico ou à explosão.

Opera puxando uma ou mais carretas, que devem acompanhar sem dificuldade o trator. Movimenta-se continuamente, deixando as carretas paradas para carga e descarga. As carretas são sempre de dois eixos e são destinadas para transporte de matérias primas e produtos acabados nos pátios de indústrias. São de reduzido investimento inicial e baixo custo operacional com capacidade até 10 ton. com um ou dois eixos, fixos ou móveis. A carroceria das carretas pode ser de madeira ou metálica, podendo ter freios e molas, dependendo das condições de trabalho. São tracionadas normalmente em comboio.

Este é o dispositivo utilizado na Embraco para o transporte de paletes de compressores prontos e recebimento na montagem de paletes de madeira. As seguintes considerações foram feitas:

- transporte de paletes arqueados com abertura e rearqueamento do palete na linha de acessórios, caso seja necessário.
- Transporte de paletes não arqueados, com dispositivo de fixação nos paletes ou nos vagões para transportar os compressores com segurança.

- *Transportadores Aéreos*

A utilização de transportadores aéreos prevê o transporte de compressores de forma individual ou em pequenos lotes. Para que tal fato ocorra é necessário que a paletização e o arqueamento ocorram na expedição. Esta é uma alternativa mais dispendiosa que mas que por sua vez pode proporcionar uma série de vantagens adicionais a fábrica, como a liberação do espaço da montagem, e ao processo produtivo, como o fim da abertura de paletes para montagem de acessórios elétricos. Dentre as alternativas analisadas estão o transportador por correntes, o transportador do tipo *mono rail* e *power and free*.

#### **5.3.4. Recepção dos compressores na Difipro**

Hoje, os compressores são descarregados na Difipro por empilhadeiras que retiram os paletes da composição dos tratores e os armazenam nos locais determinados pelo programa que administra a área de armazenagem e expedição da empresa. Dentre as possibilidades analisadas para esta área estariam a utilização de AGVs para descarga de compressores dos tratores e armazenamento em locais apropriados de forma automática. Outra possibilidade seria no caso da utilização do transportador aéreo a entrega dos compressores ser feita em linhas especiais que separariam os compressores pelo tipo e destino.

#### **5.3.5. Armazenagem**

A armazenagem dos compressores, como citado no item anterior, é realizada por empilhadeiras que através de um coletor de dados que se comunica com o software de gerenciamento da área por rádio frequência, visualiza a posição correta onde devem ser armazenados os compressores. Uma proposta de automação para o armazenamento dos compressores seria a utilização de um sistema de transelevadores (sistema ASRS) ou até mesmo por AGVs.

#### **5.3.6. Movimentação**

Para a movimentação interna na área de expedição pode-se utilizar empilhadeiras, paleteiras, que possuem menor capacidade de carga, esteiras, no caso do transporte até a expedição ser feito pelo transportador aéreo, e finalmente de forma autônoma, por AGVs.

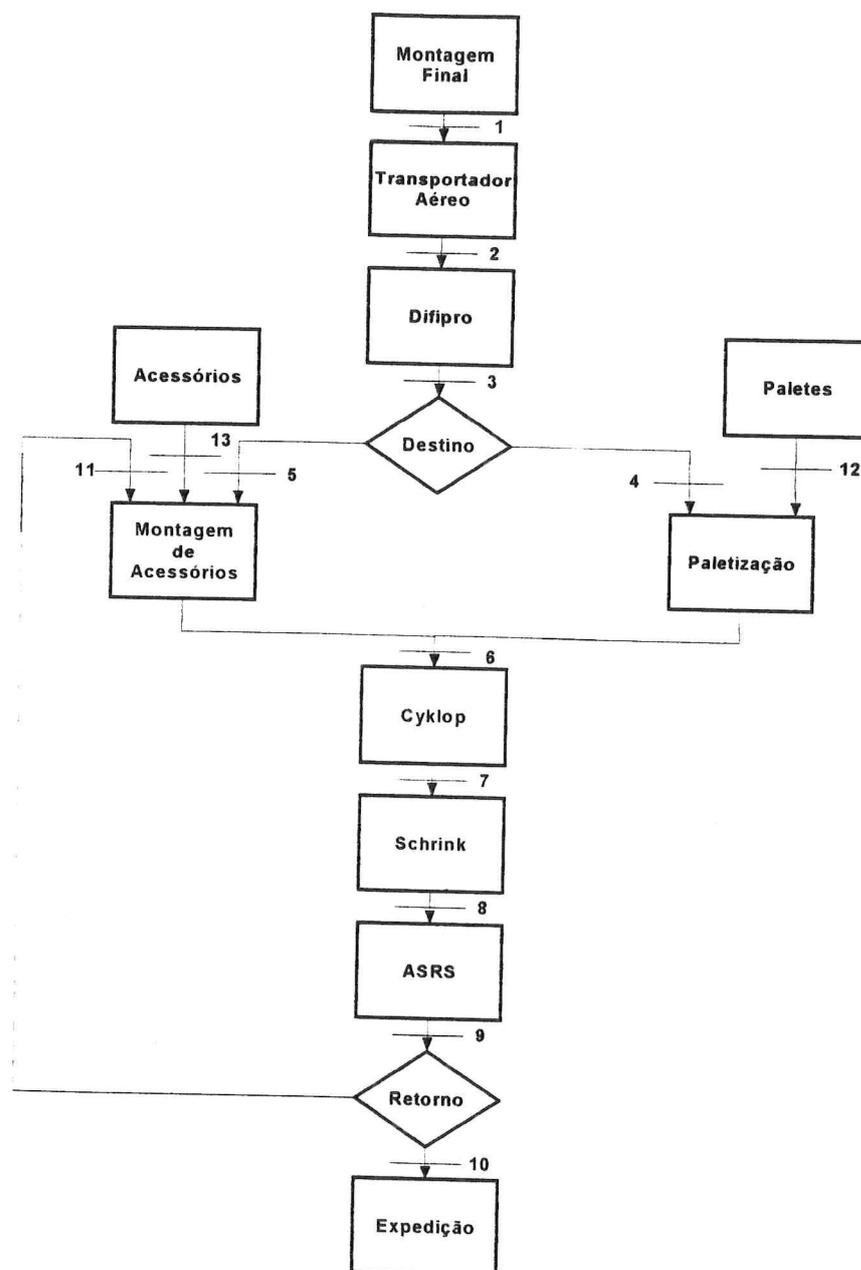
#### **5.3.7. Embalagens e Paletes**

Com citado no caso do arqueamento a Embraco pesquisa ainda possíveis modificações nas embalagens utilizadas para transporte e armazenamento, podendo ser de madeira (atual), de isopor ou paletes de plástico retornáveis para atender o mercado nacional e a Multibrás. Ainda está em estudo pela divisão de produtos o possível aumento da largura dos paletes de 800 mm para 960 mm para acomodar maior quantidade de compressores por embalagem.

Baseado nas alternativas apresentadas foram elaboradas diferentes propostas, que tem em comum a combinação das possibilidades e que representam custos diferenciados.

#### **5.4. Proposta de automação para o sistema de movimentação e armazenagem**

Dentre as inúmeras combinações dos elementos propostos para automatização da movimentação entre a montagem final dos blocos de produção é o bloco de expedição e armazenagem da Embraco, o fluxograma apresentado na figura 5.1 representa a alternativa elaborada que melhor atende aos requisitos de automação e a política da empresa de retorno de investimentos.



**Figura 5.1 Fluxograma da proposta de automação**

O a proposta baseia-se na concepção de um transportador aéreo do tipo Power & Free, responsável pela retirada de compressores dos blocos de fabricação (1) e transporte dos mesmos até a Difipro. Os compressores desacoplados do transportador aéreo (2) serão colocado em esteiras, onde através da leitura óptica do código de barras, serão distribuídos para as respectivas linhas(3) de paletização e arqueamento (4), montagem de acessórios elétricos(5), ou ainda para uma linha de testes.

Uma vez os compressores estando paletizados deverão se dirigir, através de LGVs (Laser Guided Vehicles), para a máquina de arqueamento automático (6), ou para a máquina de embalagem por plástico (7), para isso deverá ser elaborada uma lógica para distinguir qual das máquinas deverá ser acionada, pois à princípio estas estarão colocadas em série.

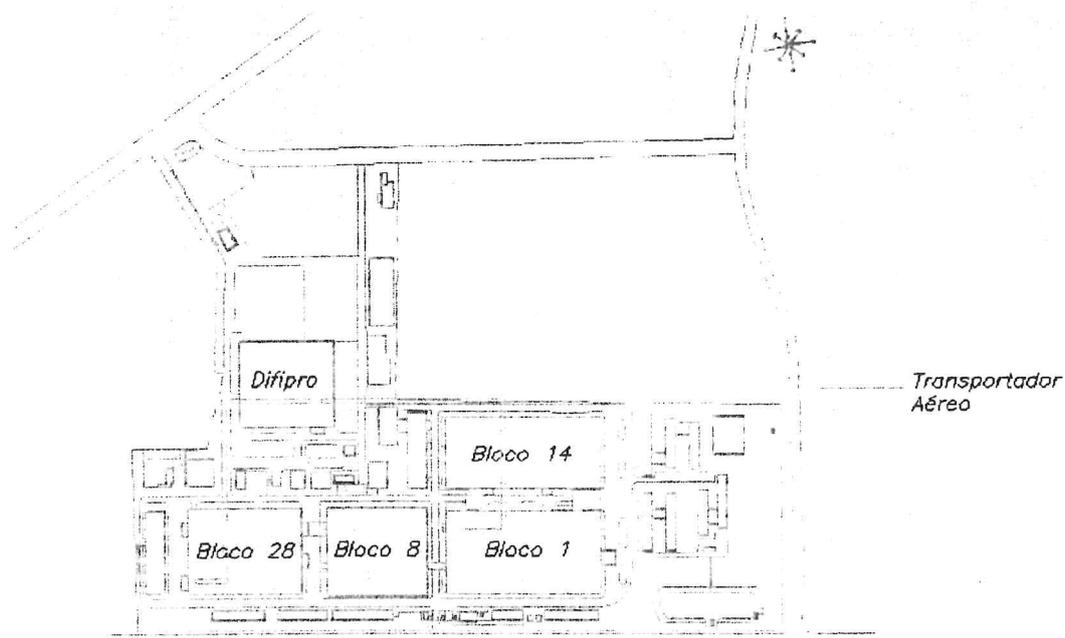
A próxima etapa será a entrada em um sistema ASRS (8) para armazenagem automática dos paletes prontos, sendo apenas retirados para expedição(10) e eventualmente (9) para teste ou para montagem de acessórios no caso de um pedido extra, onde se encontram peças em estoque (11). O novo leiaute da Difipro deverá ainda apresentar áreas para recebimento de paletes e de componentes elétricos.

A implementação desses sistemas irá implicar nas seguintes conseqüências e melhorias:

- Redução do custo de transporte e movimentação.
- Redução de custo com mão-de-obra indireta.
- Redução dos níveis de estoque.
- Eliminação dos custos com reabertura e novo fechamento de paletes.
- Implementação de sistema Just-In-Time para fornecedores de acessórios e paletes.
- Maior capacidade de controle do estoque de compressores.
- Flexibilidade em alterações nas lógicas de processo e de leiaute.

#### **5.4.1. O transportador aéreo**

O transportador aéreo deve ser do tipo Power & Free devido suas características de acumulação, sendo possível determinar áreas de carga e descarga de compressores onde as ganchas dos transportadores estarão parados. O transportador deverá conter dois anéis, conforme apresentado na figura 5.2.



**Figura 5.2 Anéis do transportador aéreo**

O anel menor irá interligar a montagem final do bloco 28 com a Difipro, possuindo 285 metros, enquanto o anel maior apresenta 310 metros e interliga os blocos 01 e 14 a área de expedição e armazenagem.

Segundo proposta apresentada pela empresa Cassioli do Brasil, o primeiro anel irá dispor de 600 gancheiras com capacidade para 4 compressores cada, e ainda estações de carga e descarga em cada um dos blocos envolvidos. Já o anel maior apresentará 700 gancheiras com a mesma capacidade das anteriores e outras estações em cada um dos blocos.

Conforme especificação as estações devem ser em número tal a atender as linhas de fabricação em cada um dos blocos (duas no bloco 14, três no bloco 01 e outras duas no bloco 28) e as linhas necessárias na Difipro (além das estações de descarga para cada linha, uma estação para montagem de componentes elétricos e outra para testes).

O dispositivo para carregar e descarregar os compressores, segundo a mesma proposta, seria um manipulador pneumático com dois graus de liberdade (*pick and place*) com deslocamento vertical de curso 100 mm e horizontal de 1000 mm, com a pinça tendo capacidade de prender 2

compressores simultaneamente. Os compressores seriam então dispostos sobre as gancheiras para transporte.

#### **5.4.2. O sistema transelevador**

Segundo proposta apresentada pela empresa Scheffer Armazenagem e Automação o sistema para armazenagem de paletes na Difipro será composto por quatro transelevadores com capacidade de elevação de 1000 kg, com velocidade variável e movimentação de translação e elevação e com atuação lateral do garfo. O sistema de tração será de corrente alternada com conjunto moto – redutores, acompanhados de motores com freios magnéticos. Conjuntos elétrico-mecânico, compostos de guia superior, caminho de rolamento inferior para translação e calha elétrica.

Os módulos de estruturas de armazenagens será feitos em aço, com 4 planos de armazenagem, em um total de 5.840 posições para paletes. As dimensões de todo o sistema seria de 90.000 mm de largura por 50.260 mm e comprimento por 6.500 mm de altura.

#### **5.5. Análise de custos**

Com o propósito de identificar os fatores econômicos relacionados com a proposta apresentada, elaborou-se as seguintes tabelas, com os principais custos substituídos e acrescentados, todos os valores estão em Dólar.

### 5.5.1. Montagem Final

A proposta apresentada prevê a substituição dos AGVs existentes na montagem final pelo transportador aéreo. Os AGVs, no total de três, seriam deslocados para a área de expedição da empresa, em substituição as empilhadeiras e outros equipamentos de movimentação manual.

Devido a demanda de compressores e a capacidade de transporte dos veículos, será necessária a aquisição de quarto AGV a ser introduzido na movimentação dos paletes.

- *Custo operacional de AGVs*

#### a) Depreciação

	Valor de Aquisição	Quantidade	Período de Depreciação	Valor anual depreciado
<b>AGVs</b>	<b>1.500.000,00</b>	<b>14</b>	<b>13 anos</b>	<b>8.250,00</b>

Tabela 1 Depreciação de AGVs

#### b) Bateria

	Valor de compra	Período de Duração	Custo Anual
<b>AGVs</b>	<b>US\$ 6.000,00</b>	<b>5 anos</b>	<b>R\$ 1.200,00</b>

Tabela 2 - Custo da bateria do AGV

**Custo total aproximado de 1 AGV por ano = US\$ 9.450,00**

#### c) AGVs previstos para utilização na Difipro

Equipamento	Valor	Custo Operacional Anual
4 AGVs	120.000,00	9.450,00/ano
<b>Total</b>	<b>480.000,00</b>	<b>37.800,00/ano</b>

**Tabela 3- Custo total dos AGVs para Difipro**

Sendo necessária a aquisição de um quarto AGV somente o custo de compra e o custo operacional do veículo devem ser considerados na proposta.

- *Mão-de-obra*

Considerando a linha de arqueamento completamente automática na área de expedição e armazenagem, a mão-de-obra relacionada as linhas semi-automáticas existentes nas montagens final seriam dispensadas.

a) Linha de Arqueamento

	turno 60	turno 70	turno 80
Bloco 01	2	2	2
Bloco 14	1	1	1
Bloco 28	1	1	1
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Custo/ano (US\$ 8.000)</b>	<b>32.000,00</b>	<b>32.000,00</b>	<b>32.000,00</b>

**Tabela 4- Custo substituído de mão-de-obra**

**Custo Total = US\$ 96.000,00 / ano**

- *Transporte*

Referente ao transporte entre blocos de produção e o bloco de armazenagem, o transporte sendo realizado pelo transportador, substituiria os custos operacionais e de mão-de-obra do trator que é utilizado atualmente.

### Custo Operacional

<b>Equipamento</b>	<b>Valor</b>	<b>Custo Operacional Anual</b>
1 Vagão de Transporte	U\$ 1,20/hora	U\$ 8.208,00/ano
<b>Total</b>	<b>(Estimativa)</b>	<b>U\$ 8.208,00/ano</b>

Tabela 5- Custo do trator

### Mão-de-obra

<b>Função</b>	<b>Turno 60</b>	<b>Turno 70</b>	<b>Turno 80</b>
Operador de Vagão	1	1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Custo/ano</b> <b>US\$ 8.000,00/operador</b>	<b>8.000,00</b>	<b>8.000,00</b>	<b>8.000,00</b>

Tabela 6- Custo do operador do trator

**Custo Total: U\$ 32.208,00 / ano**

### 5.5.2. Difipro

Para a Difipro, já foi considerado o custo com a implantação dos AGVs, relaciona-se a agora o impacto causado com a substituição das empilhadeira e dos funcionários decorrentes do novo sistema.

- *Transporte*

### **Custo Operacional**

<b>Equipamento</b>	<b>Valor</b>	<b>Custo Operacional Anual</b>
1 Empilhadeira Elétrica	90.000,00	US\$ 30.000
2 Empilhadeiras à Diesel	90.000,00	US\$ 60.000
<b>Total</b>	<b>US\$ 180.000,00</b>	<b>US\$ 90.000</b>

**Tabela 7- Custo de empilhadeira**

- *Montagem de acessórios*

Com a introdução do transportador aéreo não será necessário a abertura de paletes fechados para disponibilizar os compressores na linha de montagem de acessórios elétricos. Como a demanda prevista para o ano de 1999 é de 4.000.00 compressores com montagem de acessórios, a economia de arqueamento com fita metálica é significativa como mostrado na tabela abaixo.

<b>Item</b>	<b>Custo unitário</b>	<b>Consumo por palete</b>	<b>Custo por palete</b>
Fita metálica	0,05 / metro	16 metros	0,80

**Tabela 8- Custo de rearqueamento com fita metálica**

Custo total substituído: Cada palete possui em média 80 compressores, uma demanda de 5.5000.000 de compressores é equivalente a 68.750 paletes a um custo de US\$ 0,80 , o que representa US\$ 55.000,00 por ano de economia.

- *Mão-de-obra*

A tabela abaixo representa o custo atual com mão-de-obra na Difipro e a próxima tabela o custo se acordo com a nova proposta.

<b>Função</b>	<b>Turno 60</b>	<b>Turno 70</b>	<b>Turno 80</b>
Descarregar Comboio	1	1	1
Baixar Container	1	1	
Carreg. dpto, syncro, reteste	1	1	
Separar relé	1	1	
Operar no depósito	1	1	
Remontar palete (picado)			1
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>
<b>Custo/ano</b>	<b>40.000,00</b>	<b>40.000,00</b>	<b>16.000,00</b>

**Tabela 9- Custo da mão-de-obra atual na Difipro**

**Custo Anual Total: US\$ 96.000,00**

<b>Função</b>	<b>Turno 60</b>	<b>Turno 70</b>	<b>Turno 80</b>
Descarregar Comboio			
Baixar Container			
Carreg. dpto, syncro, reteste	1	1	
Separar relé	1	1	
Operar no depósito			
Remontar palete (picado)			1
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Custo/ano</b>	<b>16.000,00</b>	<b>16.000,00</b>	<b>8.000,00</b>

**Tabela 10- Custo da mão-de-obra prevista**

**Custo Anual Total: US\$ 40.000,00**

### 5.5.3. Investimento em equipamentos

A aquisição e instalação dos novos equipamentos propostos por este trabalho são os principais fatores de custo inseridos, conforme as tabelas apresentadas abaixo.

- *Transelevador (ASRS)*

<b>Equipamento</b>	<b>Valor</b>	<b>Custo Operacional Anual</b>
Civis	300.000,00	2.000,00
Transelevadores e porta paletes	1.000.000,00	10.000,00
<b>Total</b>	<b>1.300.000,00</b>	<b>12.000,00</b>

**Tabela 11- Custo de investimento**

- *Transportador aéreo Power & Free*

<b>Equipamento</b>	<b>Valor</b>
Transportador	815.000,00
<b>Total</b>	<b>815.000,00</b>

**Tabela 12- Custo do transportador**

### 5.5.4. Totalização dos Custos

Considerando as informações das tabelas apresentadas, custos com a aquisição de equipamentos e construção física da proposta foram acrescentados, mas por sua vez, custos com a eliminação de outros equipamentos e com a substituição da mão-de-obra por máquinas automáticas são eliminados. As tabelas abaixo proporcionam um balanço destes custos.

- *Custos Inseridos*

<b>Equipamento</b>	<b>Valor</b>
AGV	129.450,00
Transelevador	1.300.000,00
Transportador Aéreo	815.000,00
<b>Total</b>	<b>2.244.450,00</b>

**Tabela 13- Valores de investimento**

- *Custos Substituídos*

<b>Equipamento</b>	<b>Valor por ano</b>
Mão-de-obra do arqueamento	96.000,00
Mão-de-obra Difipro	56.000,00
Vagão de Transporte	8.208,00
Empilhadeiras	90.000,00
Montagem de acessórios	55.000,00
<b>Total</b>	<b>305.208,00</b>

**Tabela 14- Custos substituídos**

## **5.6. Conclusões e perspectivas**

A Movimentação de materiais é uma função de cinco fatores básicos: movimento, tempo, lugar, quantidade e espaço. "O estudo da movimentação de materiais não deve ser analisado como um tópico separado, visto que por si só não pode assumir a condição de uma atividade discreta isolada capaz de receber um tratamento independente. Este tratamento especial justifica-se pelo fato de que a movimentação de materiais pode atingir de 15% a 85% do custo total da fábrica".

Em termos de eficiência, os objetivos básicos da movimentação de materiais são os seguintes:

- reduzir custos;
- aumentar a capacidade produtiva;
- criar melhores condições de trabalho.

A proposta de automatização da movimentação de materiais elaborada faz parte da política de qualidade e de melhoramentos contínuos nos processos da empresa e busca atender aos principais objetivos da movimentação de materiais. Esta proposta captou os diversos estudos sendo realizados por outros departamentos de engenharia da empresa, e os englobou para construção de um único cenário para a movimentação de compressores para armazenagem e movimentação.

Com base nos valores apresentados na seção anterior, o custo de implantação dos equipamentos básicos relevantes a proposta é o principal entrave a aceitação e implantação do processo. Mas, no entanto as vantagens obtidas com a implantação do mesmo, como, automação, melhor controle e monitoramento do processo, otimização do espaço físico, garantia da qualidade do produto, modularidade que permite a expansão do sistema, redução de mão-de-obra direta, baixo custo operacional e segurança. São fatores estes relevantes na determinação de implantar o sistema descrito.

De forma a dar continuidade ao projeto, este passará por uma análise fina, buscando levantar de forma precisa as informações e os detalhes para implantação, tais como, modificações civis na empresa para instalação do transportador, entre outros.

A simulação de processos industriais se apresenta como uma ferramenta poderosa na fase de construção e avaliação de projetos em engenharia. Seguindo este conceito, a elaboração de um modelo de simulação, que represente o sistema descrito acima, deverá ser realizada na busca dos seguintes objetivos:

- funcionamento adequado do sistema;

- dimensionamento dos estoques entre as linhas e as máquinas de arqueamento e plastificação de paletes, entre as máquinas e o sistema ASRS, e entre este e a expedição;
- dimensionamento da quantidade de veículos necessários para o sistema ASRS;
- verificação e testes de políticas e lógicas de armazenamento e recuperação no sistema ASRS;
- levantar soluções das diversas situações de falha que possam ser identificadas e simuladas;
- testar efeito de paradas nos equipamentos do sistema (em cascata);

O desenvolvimento da proposta do projeto foi em especial importante pois possibilitou o contato com diversas tecnologias vigentes na área de manipulação de materiais, com diversas empresas, novos conceitos, tanto na área de hardware, quanto na área de software e com a automação de chão-de-fábrica.

## Capítulo 7: Bibliografia

- [ 1 ] A. M. Law e W. D. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis", McGraw-Hill, 2º Ed., 1991.
  
- [ 2 ] U. Rembold, B. O. Nnaji e A. Storr, "Computer Integrated Manufacturing and Engineering", Addison-Wesley Publishers Ltd, 1993.
  
- [ 3 ] J. M. Walker, "Handbook of Manufacturing Engineering", Marcel Dekker, Inc., 1996.
  
  
- [ 4 ] Eisenmman, "Robot Vehicles", Catálogo.
  
  
- [ 5 ] Automod Manuais, vol. 1,2,3 e 4, AutoSimulations, Inc. 1996.
  
  
- [ 6 ] Unibilt, "Unibilt Enclosed Track Power & Free Conveyors", Catálogo.
  
  
- [ 7 ] C. F. Martins, "Um Experimento de Simulação para Avaliação de um Processo Industrial : Caso da Embraco", Dissertação de Mestrado, UFSC, Fevereiro de 1994.
  
  
- [ 8 ] C. F. Martins, "Modelagem e Avaliação de Desempenho por Simulação de AGVs : Caso da Embraco", Dissertação de Mestrado, UFSC, Fevereiro de 1997.

## **Bibliografia**

- [ 1 ] A. M. Law e W. D. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis", McGraw-Hill, 2º Ed., 1991.
  
- [ 2 ] U. Rembold, B. O. Nnaji e A. Storr, "Computer Integrated Manufacturing and Engineering", Addison-Wesley Publishers Ltd, 1993.
  
- [ 3 ] J. M. Walker, "Handbook of Manufacturing Engineering", Marcel Dekker, Inc., 1996.
  
- [ 4 ] Eisenmman, "Robot Vehicles", Catálogo.
  
- [ 5 ] Automod Manuais, vol. 1,2,3 e 4, AutoSimulations, Inc. 1996.
  
- [ 6 ] Unibilt, "Unibilt Enclosed Track Power & Free Conveyors", Catálogo.
  
- [ 7 ] C. F. Martins, "Um Experimento de Simulação para Avaliação de um Processo Industrial : Caso da Embraco", Dissertação de Mestrado, UFSC, Fevereiro de 1994.
  
- [ 8 ] C. F. Martins, "Modelagem e Avaliação de Desempenho por Simulação de AGVs : Caso da Embraco", Dissertação de Mestrado, UFSC, Fevereiro de 1997.