

KIMIE INO

Nota final

8,8 (nota x 0,6)



**MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS DE TRANSPORTE E/OU
MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS EM AMBIENTE INDUSTRIAL**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
relacionada à disciplina PMR2550 –
Projeto de Conclusão do Curso II, do
Departamento de Engenharia
Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

São Paulo
2005

RESUMO

A movimentação de materiais é uma atividade intrínseca de processos industriais de manufatura. Em geral, dentro de uma instalação industrial esta atividade não agrega valor ao produto final, isto é, ela é entendida como um custo e assim, a movimentação de materiais deve ser minimizada, mas por outro lado, aspectos como a produtividade, a qualidade e a flexibilidade do processo devem ser asseguradas. Neste contexto, o objetivo do projeto é a modelagem e análise de um sistema de transporte e/ou movimentação de materiais de uma instalação fabril visando o estudo de alternativas para o aprimoramento desta atividade. Para a modelagem foram considerados os conceitos de sistemas a eventos discretos e de rede de Petri. A análise envolve diferentes aspectos do sistema e assim, além das técnicas analíticas, as ferramentas de simulação também foram utilizadas. Como estudo de caso, considerou-se uma das plantas produtivas da empresa “BRASILATA S/A Embalagens Metálicas”.

Palavras chave: Sistema de transporte e/ou movimentação de materiais, sistemas a eventos discretos, rede de Petri.

SUMÁRIO

RESUMO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.2. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	3
 2. CONCEITOS BÁSICOS	 4
2.1. SISTEMAS DE TRANSPORTE	4
2.1.1. <i>Fixos</i>	4
2.2.2. <i>Flexíveis</i>	5
2.2. SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS	6
2.3. REDE DE PETRI.....	7
2.4. PFS / MFG	8
2.4.1. <i>PFS (Production Flow Schema)</i>	8
2.4.2. <i>MFG (Mark Flow Graph)</i>	9
2.5. ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS	11
 3. MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS DE TRANSPORTE E/OU	
 MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS	12
3.1. ETAPAS DA METODOLOGIA DE PROJETO	12
3.1.1. <i>Especificação do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais</i>	13
3.1.2. <i>Definição dos modelos conceituais que compõem o sistema</i>	14
3.1.3. <i>Definição de como os modelos se relacionam</i>	15
3.1.4. <i>Detalhamento dos componentes do modelo</i>	16
3.1.5. <i>Análise estrutural e qualitativa dos processos</i>	16
3.1.6. <i>Análise funcional e quantitativa dos processos</i>	17
3.2. PROMODEL	17
3.2.1. <i>Conversão de um grafo PFS/MFG</i>	19

4. ESTUDO DE CASO - MODELAGEM	20
4.1. ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA	20
4.2. DEFINIÇÃO DOS MODELOS CONCEITUAIS.....	21
4.3. DEFINIÇÃO DE COMO OS MODELOS SE RELACIONAM	24
4.4. DETALHAMENTO DOS COMPONENTES	26
5. ESTUDO DE CASO - ANÁLISE.....	30
5.1. ANÁLISE ESTRUTURAL E QUALITATIVA.....	30
5.2. ANÁLISE FUNCIONAL E QUANTITATIVA.....	31
5.2.1. <i>Estratégia de Simulação Adotada</i>	37
5.2.2. <i>Resultados da Simulação</i>	37
5.2.3. <i>Análise e Discussão dos Resultados</i>	42
6. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES FINAIS.....	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A reestruturação organizacional necessária para manter a competitividade de uma empresa implica em considerar-se como premissas básicas a produtividade, a qualidade, a manutenção de níveis elevados de autonomia e flexibilidade operacional, a garantia de atendimento de prazos de entrega cada vez menores e a capacidade de produzir uma variedade extensa de produtos compatíveis com as necessidades de um mercado de consumidores que tem valorizado cada vez mais a variedade de opção de produtos (Santos Filho, 1998).

A redução de custos de produção, visando à maximização dos lucros, é essencial para qualquer empresa, independentemente da estrutura de mercado em que se situa. O transporte de materiais dentro de uma planta industrial são atividades que em princípio, não agregam valor ao produto, porém sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais são imprescindíveis devido às restrições do processo e das instalações, que impõem distâncias a serem percorridas pelo material ao longo do processamento (Santos Filho, 1998).

Entre as diversas abordagens para a concepção de sistemas de produção, há a proposta de uma arquitetura de sistema antropocêntrico de produção. São sistemas concebidos, implementados e operados pelo homem com o objetivo de atender as necessidades do homem. A abordagem antropocêntrica é baseada na “valorização do elemento humano como parte integrante do sistema de produção, que intervêm na sua evolução dinâmica, utilizando-se a capacidade destes elementos para tomar decisões, flexibilizar e otimizar a funcionalidade destes sistemas” (Santos Filho, 1998).

O desenvolvimento ou a manutenção de tais sistemas envolve tarefas que não são triviais em função de características como o porte, a dinâmica, o indeterminismo, a estrutura e a forma de operação (Matsusaki, 1998). Além disso, o número de variáveis é ainda maior uma vez que se inclui a intervenção do homem no processo, tais como erro de operação, condição de riscos, qualidade do serviço, comportamentos

imprevistos, facilidade e efetividade da interface com a máquina, habilidade do operador entre outros.

Assim, considera-se fundamental que o estudo deste problema envolva casos práticos que ocorrem nos ambientes industriais. Neste contexto, a empresa “Brasilata S/A Embalagens Metálicas” disponibilizou informações para o desenvolvimento do trabalho. Esta empresa é uma metalúrgica nacional de médio porte atuante na produção de latas metálicas para acondicionamento de produtos químicos e alimentícios.

A empresa se encontra num processo contínuo de crescimento, e para manter os custos de produção sob controle é fundamental um estudo sobre o fluxo de materiais no interior da fábrica, no sentido de aprimorar o sistema de transporte e/ou movimentação de materiais. O enfoque do trabalho está no sistema de empilhadeiras da fábrica, pois basicamente toda movimentação de materiais é realizada por elas. Segundo Junqueira (2001), estas empilhadeiras compõem um sistema flexível de transporte e/ou movimentação onde uma mudança no fluxo de material não implica em mudanças de equipamentos de transporte, pois os movimentos de transporte não sofrem limitações físicas como trilhos, guias etc.

O custo relativamente elevado em manutenção e combustível, a falta de uma sistematização na definição dos percursos e a preocupação com a segurança dos trabalhadores que compartilham o mesmo espaço físico com as empilhadeiras são as principais motivações para realizar a análise do sistema em questão sendo que entre os resultados desejados tem-se a maximização da eficiência na realização do transporte e/ou movimentação de materiais pelas empilhadeiras no interior da fábrica.

Do ponto de vista do estudo do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais de seus elementos estruturais e do respectivo comportamento dinâmico, a abordagem de sistemas a eventos discretos (SED) (Miyagi, 1996) é plenamente compatível, quando considerado a organização hierárquica dos sistemas antropocêntricos e os correspondentes níveis de abstração assumindo que os estados são discretos e os eventos são assíncronos e instantâneos. Considerando o sistema de transporte e/ou movimentação de materiais como sendo um SED, podem-se empregar técnicas derivadas de rede de Petri para a modelagem e análise do sistema de transporte e/ou movimentação através da verificação das propriedades deste tipo de

rede além do uso de técnicas de simulação discreta para avaliação de diferentes cenários.

1.1. Objetivos

Com base no que foi apresentado anteriormente, o objetivo do presente projeto é a modelagem e análise de um sistema de transporte e/ou movimentação de materiais de uma instalação fabril existente considerando o conceito de sistemas a eventos discretos e rede de Petri.

1.2. Organização do Texto

Apresenta-se no capítulo 2 os conceitos relacionados com modelagem de sistemas a eventos discretos (SED). Neste contexto apresentam-se as ferramentas e técnicas de Rede de Petri e seus derivados, como o PFS/MFG (*Production Flow Schema / Mark Flow Schema*).

No capítulo 3 aborda-se o procedimento adotado para a modelagem e análise do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais, descrevendo as etapas envolvidas no processo e os documentos gerados em cada etapa.

É apresentada no capítulo 4 a aplicação do procedimento introduzido no capítulo anterior para o estudo de caso de um problema real.

No capítulo 5 apresentam-se os principais resultados da análise do sistema utilizando uma ferramenta de simulação.

Por fim no capítulo 6 apresentam-se as conclusões finais e as limitações do presente trabalho.

Capítulo 2

CONCEITOS BÁSICOS

No presente capítulo são abordados os conceitos básicos envolvidos na modelagem e análise de sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais. Assim, há uma rápida descrição dos sistemas de transporte fixo e flexível, dos sistemas a eventos discretos (SED) e as ferramentas e as técnicas utilizadas na modelagem destes sistemas, como a Rede de Petri e suas extensões. No final do capítulo, há uma descrição a respeito da análise e simulação dos modelos.

2.1. Sistemas de Transporte

“Sistema” pode ser definido como um conjunto de elementos entre os quais pode-se encontrar ou caracterizar alguma relação. Os sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais encontrados nas empresas podem ser classificados em fixos ou flexíveis de acordo com as suas características.

2.1.1. Fixos

Os sistemas fixos são sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais que possuem seu movimento limitado fisicamente, como por exemplo: trilhos ou guias. Por isso, mudanças no arranjo físico das instalações implicam em mudanças de equipamentos e de infra-estrutura de transporte (Junqueira, 2001). Segue abaixo alguns exemplos:

- correias – geralmente utilizados para transportar grandes quantidades de materiais (muito comum no transporte de minérios);
- correntes – possuem como vantagem o fato de poderem ser utilizados nas 3 dimensões e movimentarem materiais de vários tamanhos, pesos, formas, inclusive a elevadas temperaturas;
- guindastes – compostos de coluna e lança com guincho e, acionados por dispositivos mecânicos ou elétricos. A aplicação desta modalidade de equipamento é recomendada no transporte interno e quando as cargas pesam mais de 5 toneladas;
- elevadores – utilizados na elevação de pessoas, cargas, veículos, etc.

2.2.2. Flexíveis

São sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais onde mudanças no arranjo físico não implicam em mudanças nos equipamentos e/ou infra-estrutura de transporte, pois os movimentos não sofrem limitações físicas (Junqueira, 2001). Segue abaixo alguns exemplos:

- empilhadeiras – são normalmente utilizadas quando necessitam-se de capacidade de empilhar cargas e de transportar cargas pesadas;
- transportadores – são utilizados principalmente no meio industrial para transporte de cargas nos pátios e de peças entre centro de custo;
- trailers e veículos especiais – estes podem ser considerados acessórios acoplados às empilhadeiras ou aos transportadores.

O sistema de transporte e/ou movimentação flexível permite que a rota de materiais e/ou de seus movimentos sejam alterados dinamicamente, visto que não possuem limitações físicas como trilhos ou guias, podendo transportar uma grande variedade de tipos diferentes de materiais (Junqueira, 2001).

Mais detalhes sobre os sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais podem ser encontradas em Junqueira (2001).

2.2. Sistemas a Eventos Discretos

Sistemas a eventos discretos (SED) são sistemas dinâmicos em que as variáveis estão no domínio de valores finitos ou enumeráveis que evoluem ao longo do tempo de forma assíncrona e abrupta, ou seja, a sua dinâmica é governada pela ocorrência de eventos instantâneos que alteram o estado discreto do sistema. A análise de sistemas por sua vez, consiste em investigar cada parte do sistema verificando suas funções e como elas se relacionam entre si e com outros sistemas. Neste sentido a simulação é uma técnica de análise que pode ser útil para determinar as melhores condições de operação e detectar erros de projeto antes da implantação destes sistemas (Miyagi, 1996).

Modelos baseados em SED são intensamente utilizados para descrever, analisar e controlar processos em ambientes de manufatura. O sistema de transporte e/ou movimentação de materiais em sistemas produtivos pode ser abordada como uma sucessão de eventos discretos e, portanto modelados como SED.

Neste contexto, diversos trabalhos têm sido conduzidos para o estudo dos sistemas antropocêntricos, principalmente quando vistos como SED e, dentre os trabalhos existentes, o procedimento PFS/MFG de modelagem, análise e controle (Miyagi, 1996), é um dos que assegura um tratamento sistematizado e próprio para a concepção e desenvolvimento destes sistemas. Este procedimento é derivado da técnica de refinamentos sucessivos da rede de Petri (Peterson, 1981) e explora o poder de representação desta técnica através de interpretações como o PFS (*Production Flow Schema*) e o MFG (*Mark Flow Graph*) para descrever o sistema em diferentes níveis de abstração.

Maiores detalhes, sobre SED, podem ser encontradas em Peterson (1981) e Miyagi (1996).

2.3. Rede de Petri

A rede de Petri é um formalismo que permite a modelagem de SED com grande poder de expressividade, permitindo representar com facilidade todas as relações de causalidade entre processos em situações de: seqüencialidade, conflito, concorrência e sincronização. Ela é também uma ferramenta gráfica e matemática de modelagem que oferece um ambiente uniforme para descrição, análise e projeto de SED (Miyagi, 1996).

Pode ser aplicada para estudar diversos tipos de comportamentos apresentando diferentes níveis de abstração. Os principais SED onde esta técnica tem sido aplicada são: sistemas de comunicações, sistemas de software, sistemas de processamento de informação, além das aplicações em modelagem, simulação e seqüenciamento de sistemas flexíveis de manufatura.

O formalismo matemático da rede de Petri possibilita a análise do modelo e verificações de propriedades inerentes aos SED, tais como relações de precedência entre eventos, sincronização de processos e existência de bloqueios (auto-travamentos de sistemas). Além de todas estas vantagens, permite a visualização dos processos e a comunicação entre eles. O modelo básico da rede de Petri permite a validação qualitativa do funcionamento de processos em SED.

Maiores detalhes, sobre a rede de Petri, podem ser encontradas em Peterson (1981).

Entretanto, em aplicações práticas de projeto e controle de sistemas complexos e de grande porte, a técnica apresenta limitações devido a dimensões do grafo resultante. Visando sanar estas limitações, têm sido propostas extensões derivadas da rede de Petri conhecidas como redes de Petri interpretadas. Por exemplo, baseadas nas características funcionais dos SED e nas especificações de controle do sistema produtivo foram desenvolvidas o PFS/MFG, onde, a partir do modelo conceitual do sistema representado por um grafo PFS (*Production Flow Schema*) (Miyagi 1996), realiza-se o detalhamento gradual das atividades, utilizando o MFG (*Mark Flow Graph*), até o nível desejado (modelo funcional) (Santos Filho, 1998).

2.4. PFS / MFG

Este procedimento consiste na modelagem de sistemas, seguindo uma abordagem sistemática e racional sob uma estrutura hierárquica e com base em refinamentos sucessivos para detalhar o modelo de forma progressiva e estruturada (Miyagi, 1996). Inicialmente o modelo conceitual do sistema é desenvolvido com o PFS (*Production Flow Schema*).

Um modelo em PFS representa um alto nível de abstração do sistema sem detalhamento de sua dinâmica, pois nesta etapa o propósito é modelar estruturalmente as funções que serão consideradas no sistema. A ênfase está na identificação dos componentes ativos e passivos do sistema, assim como na caracterização do fluxo de material e/ou informação entre estes elementos. Para a descrição funcional do sistema, os elementos do grafo PFS são então detalhados. Este detalhamento pode gerar sub-grafos totalmente em PFS ou sub-grafos em MFG (*Mark Flow Graph*) ou sub-grafos híbridos em PFS/MFG.

Na modelagem do comportamento dinâmico do sistema, o modelo em PFS é convertido progressivamente em um modelo em MFG ou uma outra rede de Petri interpretada adequada que detalha o funcionamento das diversas partes do sistema até o nível desejado. Neste nível a dinâmica do sistema é descrita através da evolução da marcação do grafo.

2.4.1. PFS (*Production Flow Schema*)

No desenvolvimento de modelos de sistemas produtivos, é natural uma abordagem através de refinamentos sucessivos, *top-down*, dada a sua forma hierárquica de organização. Assim, os eventos de SED identificam um certo tipo de atividade tratado como macro-evento.

O sistema produtivo pode ser decomposto em dois elementos básicos:

- *Elementos ativos*: capazes de realizar ações ou modificações nos itens, sendo representados por um bloco delimitado por dois colchetes ([atividade]);
- *Elementos passivos*: não realizam transformação, mas são capazes de armazenar e distribuir os itens, sendo representados por círculos(O).

As relações entre estes elementos são representadas por *arcos orientados*. Esses *arcos orientados* indicam uma conexão lógica e/ou física e/ou direitos de acessos. Um *arco* nunca representa um componente do sistema, mas uma relação entre os componentes. O grafo resultante da representação do fluxo de itens (material ou informação) em um sistema produtivo composto pelos elementos acima é chamado de PFS.

Em relação à rede de Petri não há o conceito de *marcação* ou *marca*, isto é, não existe a representação explícita da evolução dinâmica do sistema. As interpretações (inscrição na rede) são simples descrições dos elementos do sistema. As inscrições nos *elementos passivos* descrevem quais itens são armazenados nestes elementos. As inscrições nos *elementos ativos* indicam quando e como ocorrem estas alterações nos itens. Assim, o PFS mostra explicitamente os componentes que formam o sistema e que relações existem entre cada uma delas, isto é, sua estrutura.

Maiores detalhes, sobre o PFS, podem ser encontradas em Miyagi (1996).

2.4.2. MFG (Mark Flow Graph)

O MFG é uma ferramenta de modelagem do comportamento do sistema, com capacidade para representar a sua dinâmica incluindo situações como: assincronismo, seqüenciamento, paralelismo, concorrência e intertravamentos. O MFG é uma rede interpretada derivada da teoria de rede de Petri tipo condição-evento (Miyagi, 1996).

É composto pelos seguintes elementos estruturais:

- *Box*^{*} : indica uma condição e é representado por um bloco quadrado;
- *Transição*: indica um evento primitivo^{**} e é representada por uma barra vertical;
- *Arco orientado*: conecta *boxes* e *transições* para indicar a relação entre uma condição e os pré e pós-eventos que o definem. É representado por uma seta;
- *Marca*: indica a manutenção de uma condição e é representada por um ponto negro no interior do *box* correspondente à condição mantida;
- *Porta ou "gate"*: habilita ou inibe a ocorrência dos eventos correspondentes às *transições*. Os *gates* podem ser *habilitadores*, representados por um *arco* terminado em um círculo negro, ou *inibidores*, representados por um *arco* terminado em um círculo branco. Quanto à origem do sinal do *gate*, estes podem ser classificados em: internos cujos sinais originam de um *box* do grafo, ou externos cujos sinais provêm de um ente externo ao grafo. O sinal do *gate* é binário. Quando o sinal do *gate* *inibidor* for "1", a *transição* conectada a este *gate* é inibida;
- *Arco de sinal de saída*: envia um sinal binário do *box* para um dispositivo externo ao grafo e é representado por uma linha conectada entre o *box* de origem e o dispositivo externo.

No processo de modelagem de um sistema de transporte e/ou movimentação, os *boxes* representam as condições associadas aos recursos e outras que realizam ou são envolvidas em uma atividade e as *transições* representam o início e o término de um processo (Santos Filho, 1998). Os *boxes* e as *transições* são conectados pelos *arcos orientados*, de forma intercalada. Não existe um número máximo de arcos de entrada ou saída de *boxes* ou *transições*.

A evolução dinâmica do sistema é caracterizada pela alteração nos estados causados pela ocorrência de eventos. Esta evolução é descrita com base em "regras" definidas pela teoria de rede de Petri. Assim, a disposição das *marcas* define uma *marcação* que representa o estado atual do sistema. O *disparo de uma transição* retira as *marcas* dos *boxes* de entrada e coloca essas *marcas* em todos os *boxes* de saída definindo um novo estado.

Maiores detalhes, sobre o MFG, podem ser encontradas em Miyagi (1996).

^{*} *elementos/conceitos específicos do MFG estão em itálico no presente texto.*

^{**} *eventos primitivos são eventos que não admitem subdivisão.*

2.5. Análise e Simulação de Sistemas

No projeto de SED existe sempre uma fase que envolve a análise das soluções propostas e a escolha de uma delas em função dos critérios como as condições de operação e os desempenhos previstos. Além disso, a avaliação das propostas é fundamental para identificar erros antes que o sistema seja de fato implantado. Neste contexto, a simulação se mostra como uma das ferramentas bastante poderosas na avaliação de sistemas complexos com grandes números de variáveis e iterações entre elas. A vantagem da simulação é que esta é capaz de apresentar visualmente através de animações o aspecto dinâmico aleatório dos sistemas (Miyagi, 2004).

Pode-se definir a simulação como o processo de elaboração de um cenário de um sistema real ou hipotético e a finalidade está em conduzir experimentos para entender o comportamento de um sistema e estudá-lo.

O objetivo de um modelo de simulação de eventos discretos é reproduzir as atividades das entidades (que são objetos de interesse) que compõem o sistema. Para isto, é necessário identificar os estados do sistema e as atividades que definem o comportamento dinâmico deste sistema. Na simulação discreta, a mudança de estado é determinada pela ocorrência de um evento que pode ser determinístico ou estocástico. Esses modelos são analisados por métodos numéricos ao invés de métodos analíticos.

Os sistemas de transporte e/ou movimentação sofrem influências de diversas variáveis e assim técnicas de simulação são fundamentais para o seu projeto. A vantagem da simulação como processo de análise de um modelo de um sistema real ou hipotético está na possibilidade de conduzir experimentos para entender o seu comportamento. Um modelo de simulação discreta não é usado apenas para modelar SED, nem um modelo de simulação contínua é exclusivo para modelar sistemas contínuos. A escolha de qual delas utilizar é função das características do sistema e do objetivo de estudo.

Maiores detalhes, sobre simulação discreta, podem ser encontradas em Miyagi (2004).

Capítulo 3

MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS DE TRANSPORTE E/OU MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

Uma metodologia de projeto estabelece uma forma organizada e produtiva de combinar os desenvolvimentos de cada parte de um sistema e sob diferentes enfoques. A metodologia deve atender as especificações com o menor número de erros e obter a minimização dos custos durante todo o ciclo de vida do sistema desenvolvido. Cabe ressaltar que é fundamental o emprego de metodologias de projeto que assegurem neste caso o comportamento do sistema de transporte e/ou movimentação de acordo com as suas especificações lógicas e restrições físico-operacionais.

Neste capítulo apresenta-se um procedimento para modelar e analisar um sistema de transporte e/ou movimentação de materiais dentro do contexto de que estas têm um papel fundamental no projeto destes sistemas.

3.1. Etapas da Metodologia de Projeto

O procedimento para a modelagem e análise de sistemas flexíveis de transporte e/ou movimentação de materiais em ambiente fabril pode ser descrita em 6 etapas que foram derivadas do trabalho de Junqueira (2001), vide Figura 3.1.

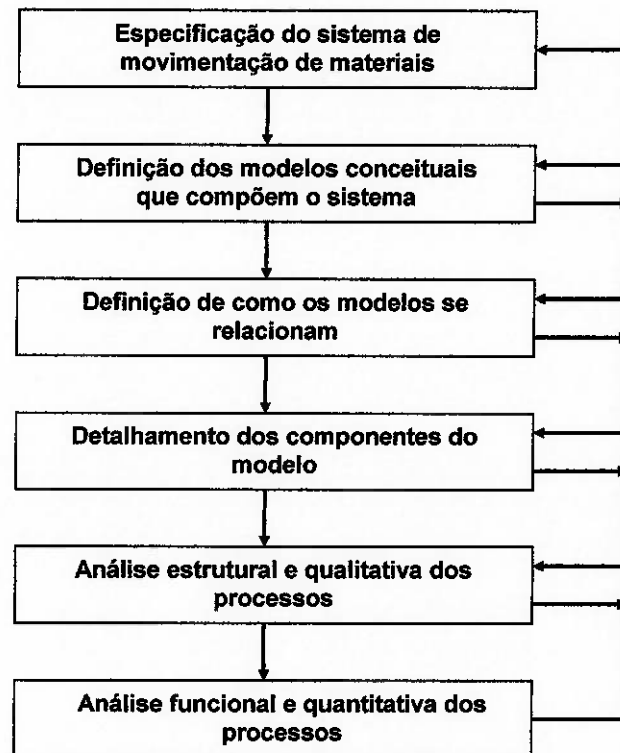


Figura 3.1 Metodologia para modelagem de sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais (Junqueira, 2001)

3.1.1. Especificação do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais

Na modelagem de sistemas é necessário definir a fronteira entre o sistema e o ambiente, pois muitas vezes o sistema é afetado por mudanças que ocorrem em ambientes externos e não pelo próprio sistema em estudo. Portanto nesta etapa identificam-se os componentes do sistema e suas características. Para o caso de sistemas flexíveis de transporte e/ou movimentação de materiais em ambiente fabril têm-se os seguintes componentes e outros aspectos característicos listados na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 Exemplos de componentes e outros aspectos que caracterizam um sistema flexível de transporte e/ou movimentação de materiais (Junqueira, 2001)

Transportadores	Frota homogênea ou heterogênea; Quantidade; Capacidade de carga que comporta;
Característica demanda	Determinística, Estocástica ou Possibilidade de ambas;
Característica malha	Nº de centros de custos (nós) que compõem a malha; As características das ligações entre centros de custo (uni, bidirecional ou coexistência de ambas);

O objetivo do modelo para análise de sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais é reproduzir as atividades das entidades (que são os objetos de interesse) que compõem o sistema. Para isto, especificam-se os seguintes componentes:

- **sistema** é definido como um grupo de objetos que estão agregados de acordo com uma relação de interdependência para atingir certos objetivos;
- **entidade** é um objeto de interesse em um sistema;
- **atributos** é uma propriedade da entidade;
- **atividades** representa uma ação;
- **eventos** pode ser entendido como as atividades primárias e instantâneas que não admitem decomposição;

3.1.2. Definição dos modelos conceituais que compõem o sistema

Nesta etapa definem-se os modelos conceituais da estrutura do sistema. Destacam-se dois *elementos principais* dos sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais que devem ser devidamente definidos:

- **Malha de Movimentação:** que é composta por *nós* que correspondem às atividades dos *Centros de Custos** e *arcos* que correspondem às atividades de transporte de material de um centro para outro, podendo ser uni ou bi-direcionais;

** centros de custos são os locais onde se processam ou se armazenam materiais.*

- **Marcas:** que são entidades que percorrem a Malha de Movimentação e podem representar instruções, transportadores, etc.

Ao final desta etapa tem-se a malha de movimentação que representa os caminhos que os materiais percorrem para a sua movimentação.

3.1.3. Definição de como os modelos se relacionam

Partindo-se da malha de movimentação apresentada no item 3.1.2. obtêm-se os modelos conceituais do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais em PFS. Definem-se os modelos conceituais identificando os dois elementos básicos que compõem cada um dos *nós* da malha de movimentação: ativos e passivos.

Cada *nó* da malha representa uma atividade (**[atividades]**) no centro de custo (**[c.c. i]**) e o *arco* representa uma atividade de transporte e/ou movimentação de material entre os centros de custo, sendo os *arcos* bidirecionais há duas atividades envolvidas: **[transporte de i para j]** e **[transporte de j para i]** (Junqueira, 2001). Por exemplo, o modelo PFS da malha de movimentação da Figura 3.2 é ilustrado na Figura 3.3.

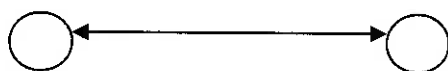


Figura 3.2 Malha de movimentação bi-direcional entre dois centros de custo.

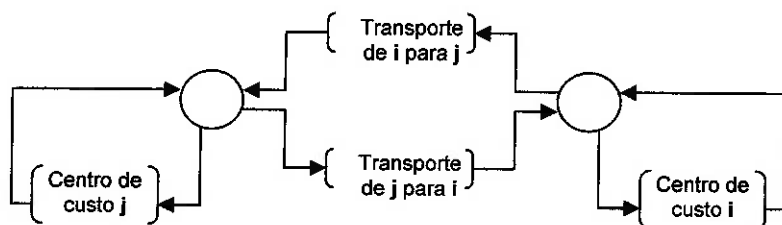


Figura 3.3 Modelo PFS da malha de movimentação.

Portando nesta etapa é feita a estruturação do modelo em PFS mostrando os componentes que formam o sistema e as relações existentes entre cada um deles. O modelo PFS é obtido ao final da etapa.

3.1.4. Detalhamento dos componentes do modelo

Nesta etapa têm-se os detalhamentos dos componentes do sistema partindo-se dos modelos conceituais em PFS até a obtenção de modelos funcionais em MFG. Em outras palavras, realizam-se os refinamentos sucessivos até o nível de detalhamento desejado.

Portanto no final desta etapa tem-se o modelo MFG do comportamento dinâmico detalhado do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais.

3.1.5. Análise estrutural e qualitativa dos processos

Nesta etapa os modelos em MFG são objeto de análise com base nas propriedades derivadas da rede de Petri. Assim, numa primeira etapa, o grafo gerado é utilizado para analisar a estrutura do sistema. O grafo deve de um lado respeitar as regras de construção de uma rede de Petri e desta forma, as relações de pré e pós-condições dos eventos, encadeamento de eventos, relações de paralelismo, conflito, concorrência, etc. podem ser todas verificadas. Numa segunda etapa, as condições iniciais do modelo/sistema são estabelecidas e para cada uma delas aplicam-se as regras de disparo das *transições*, de modo que se pode visualizar a evolução dos estados do grafo, isto é, do sistema modelado. Em geral, adota-se um procedimento de disparo passo a passo para acompanhar detalhadamente a evolução do sistema.

Destaca-se aqui que estão disponibilizados na internet diversas ferramentas desenvolvidas por pesquisadores para a edição e apoio à análise qualitativa dos

modelos em redes de Petri. Como exemplo, cita-se o programa HPSim que pode ser utilizado para a edição de redes de Petri, isto é, para assegurar que as regras de construção do modelo estão todas satisfeitas. O HPSim também tem recursos para a execução do grafo, isto é, execução dos disparos das *transições* a partir de um estado inicial de modo que é possível tanto acompanhar passo a passo a evolução dos estados da rede como também conduzir a análise qualitativa do modelo.

3.1.6. Análise funcional e quantitativa dos processos

Nesta etapa os modelos em PFS/MFG são tratados como uma especificação para entrada de dados em simuladores visando à análise funcional e quantitativa do sistema. Com o foco está na análise das funcionalidades e do desempenho do sistema sob diferentes condições, deve-se inicialmente estudar e estabelecer uma estratégia para a definição dos testes, isto é, quais as condições iniciais consideradas para cada caso, os parâmetros temporais associados às atividades, os critérios de prioridade em situações de conflito e as variações no modelo/sistema que serão objeto da análise quantitativa por simulação.

Neste caso, salienta-se que no contexto comercial existem “pacotes” computacionais chamados de simuladores próprios para a análise quantitativa de sistemas. Como exemplo, cita-se o ProModel que em função da natureza do presente projeto é explicado com o devido destaque no item seguinte.

3.2. ProModel

O ProModel é uma ferramenta de simulação que foi concebida para análise de sistemas de manufatura, abrangendo desde pequenos job shops e células de manufatura até produção em grande escala e sistemas de manufatura flexível. Ele

possui uma interface gráfica relativamente intuitiva e orientada a objeto, o que reduz o esforço de programação. É um software desenvolvido para o ambiente Windows.

Para executar a simulação como o Promodel, o sistema e seu modelo (neste caso em PFS/MFG), necessita ser convertido num formato próprio que envolve os seguintes elementos:

- **Locais:** é uma localização na tela de trabalho do ProModel onde se realiza o processamento ou armazenamento de *entidades* (ver mais adiante);
- **Entidades:** é um item, como um produto em fabricação, que é processado. A dinâmica conferida pelo ProModel às entidades permite que estas sofram operações cujos resultados são novas entidades. As operações envolvem união, divisão e conversão de itens;
- **Caminhos:** são elementos que definem por onde as entidades e recursos se movem na tela de trabalho do ProModel. Os caminhos são constituídos de nós conectados por segmentos e de interfaces desses nós com os locais. Vários caminhos podem ser definidos e, várias entidades e/ou *recursos* (ver mais adiante) podem compartilhar o mesmo caminho;
- **Recursos:** podem ser pessoas, ferramentas, veículos ou qualquer outro objeto que possa ser usado para transportar materiais entre dois locais, realizar uma operação sobre um material em um local, ou realizar manutenção em um local. Recursos podem ser dinâmicos ou estáticos, ou seja, o primeiro está vinculado a um caminho e o segundo não;
- **Processos:** a lógica de um processo define qual a operação e o roteamento para cada tipo de entidade em cada local do sistema. Os tempos de operação ou serviço, requisições de recursos, lógica de processamento, relações de entrada e saída, condições de roteamento e tempos de movimentação podem ser descritos;
- **Chegadas:** neste elemento é definido o mecanismo que define os momentos em que uma entidade é introduzida no sistema. Um registro de chegada é composto de: número de novas entidades por chegada, frequência das chegadas, locais das chegadas, o instante da primeira chegada e o número total de ocorrências de chegadas;
- **Atributos:** entidades e locais podem receber atributos de valor inteiro ou real. Podem-se definir atributos para entidades e locais e, podem assumir tanto valores

inteiros como reais. Os nomes de locais, recursos e entidades podem ser associados a atributos.

3.2.1. Conversão de um grafo PFS/MFG

No presente trabalho considera-se o ProModel para realizar a análise funcional e quantitativa dos processos no sistema. No caso do modelo do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais em PFS/MFG deve-se interpretar este modelo como uma especificação formal de modo que cada elementos estruturais do grafo devem corresponder a um certo elemento do ProModel:

- As atividades do PFS relacionadas com os *centros de custos* ou os *nós* da malha de movimentação correspondem aos *locais* no ProModel, pois é onde se realiza alguma atividade de processamento.
- A *marca* que indica qual o estado atual em que o sistema se encontra no MFG possui uma correspondência com as *entidades*, pois quando a *marca* percorre o grafo significa que o material está percorrendo o sistema.
- Os *arcos* no PFS/MFG que unem um *nó* ao outro corresponde aos *caminhos* que a empilhadeira percorre dentro da fábrica. Utilizando uma escala de acordo com a planta original e posicionando as máquinas de uma forma condizente com a realidade obtêm-se as rotas das empilhadeiras para transportar os materiais de um *centro de custo* para o outro.
- Os *recursos* correspondem os elementos de análise, por exemplo: as empilhadeiras, assim sendo, a análise se baseia em variar a quantidade deste elemento. No PFS/MFG isso corresponde a um sub-grafo com um *box* com um número de *marcas* equivalente ao número de recursos disponíveis e arcos conectados à *transições* que indicam quando o recurso está em uso e quando ele é liberado.

Capítulo 4

ESTUDO DE CASO - MODELAGEM

Neste capítulo aplica-se o procedimento introduzido no capítulo anterior para um estudo de caso, isto é, o sistema de transporte e/ou movimentação de materiais segundo da “Brasilata S/A Embalagens Metálicas”.

4.1. Especificação do sistema

Definindo o sistema, a sua fronteira com o ambiente e os seus elementos constituintes têm-se:

- **sistema:** sistema de transporte e /ou movimentação de materiais da fábrica da Brasilata em SP;
- **entidade:** empilhadeiras;
- **atributos:** malha viária das empilhadeiras e destinos destas dentro da fábrica;
- **atividades:** transporte e movimentação de materiais dentro da fábrica;
- **eventos:** chegada e saída dos locais de carga/descarga de materiais;

Caraterizando os componentes de acordo com a Tabela 3.1 tem-se:

- Transportadores: frota homogênea atualmente composta por 5 empilhadeiras que trabalham por setores transportando materiais de acordo com a necessidade das máquinas em operação. A capacidade de cada empilhadeira é de transportar no máximo 2,5 toneladas.
- Características da demanda: o transporte de materiais no interior da fábrica pode ser determinística e estocástica. Existem ambas possibilidades, pois apesar de existir uma programação de produção nos respectivos setores, muitas vezes há uma alteração não-programada nos planos de produção que envolve as empilhadeiras.

- Característica da malha: a malha é formada por centros de custos no total de 75 nós, entre eles, 65 nós são centros de processamento de materiais e 10 nós são centros de estoque de materiais. Os arcos são todos, bi-direcionais.

4.2. Definição dos modelos conceituais

O trabalho das empilhadeiras no interior da fábrica é dividido em 3 setores. Cada empilhadeira é responsável por um desses setores realizando o transporte de materiais entre os centros de carga/descarga. A Figura 4.1 ilustra de forma geral, não só a relação entre os setores e os centros de estocagem de materiais, como também o fluxo de materiais no interior da fábrica.

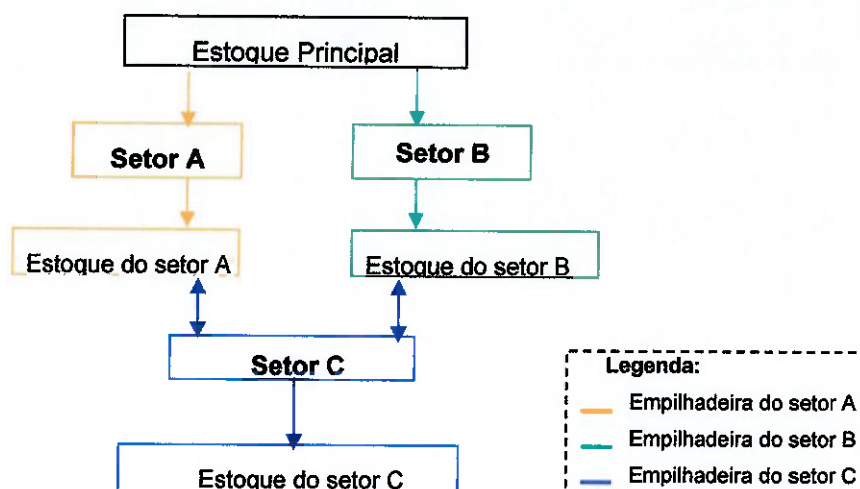


Figura 4.1 Esquema do fluxo de material no interior da fábrica

O “estoque principal” é o centro onde é armazenado todo material que chega do meio externo para a fábrica. O destino de cada material no interior da fábrica dependerá para qual finalidade este será utilizado. Há duas possibilidades de destino: “setor A” ou “setor B”.

Se o “setor A” solicitar o material, a empilhadeira responsável pelo setor leva-o até o centro onde será processado e após o término do processamento o material é transportado até o “estoque do setor A”. Se o “setor B” solicitar o material, a empilhadeira responsável leva-o até o centro onde será processado e após processamento o material é transportado até o “estoque do setor B”.

O “setor C” retira o material dos estoques A e B para realizar o processamento. O fluxo pode ser tanto do “setor C” para os estoques A e B quanto destes estoques para o “setor C”. Após o processamento nas máquinas o material resultante é transportado pela empilhadeira até o “estoque do setor C”. Este estoque corresponde ao centro onde são armazenados os produtos finais prontos para serem enviados para os clientes.

A divisão do trabalho das empilhadeiras é feita atualmente da seguinte maneira:

- 1 empilhadeira responsável pelo “setor A”.
- 2 empilhadeiras responsáveis pelo “setor B”.
- 2 empilhadeiras responsáveis pelo “setor C”.

As rotas das empilhadeiras podem ser compartilhadas, no entanto, as atividades não são, em outras palavras, cada empilhadeira realiza apenas as atividades correspondentes ao seu setor.

Para ter uma visualização do espaço físico no interior da fábrica, na Figura 4.2 ilustra-se a planta da fábrica do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais, mostrando de forma genérica o posicionamento das máquinas, os centros de estoque de cada setor e as rotas das empilhadeiras, assim como as divisões por setores ilustrando o fluxo de materiais da Figura 4.1. Com base nesta planta desenvolve-se a modelagem da malha de movimentação do sistema.

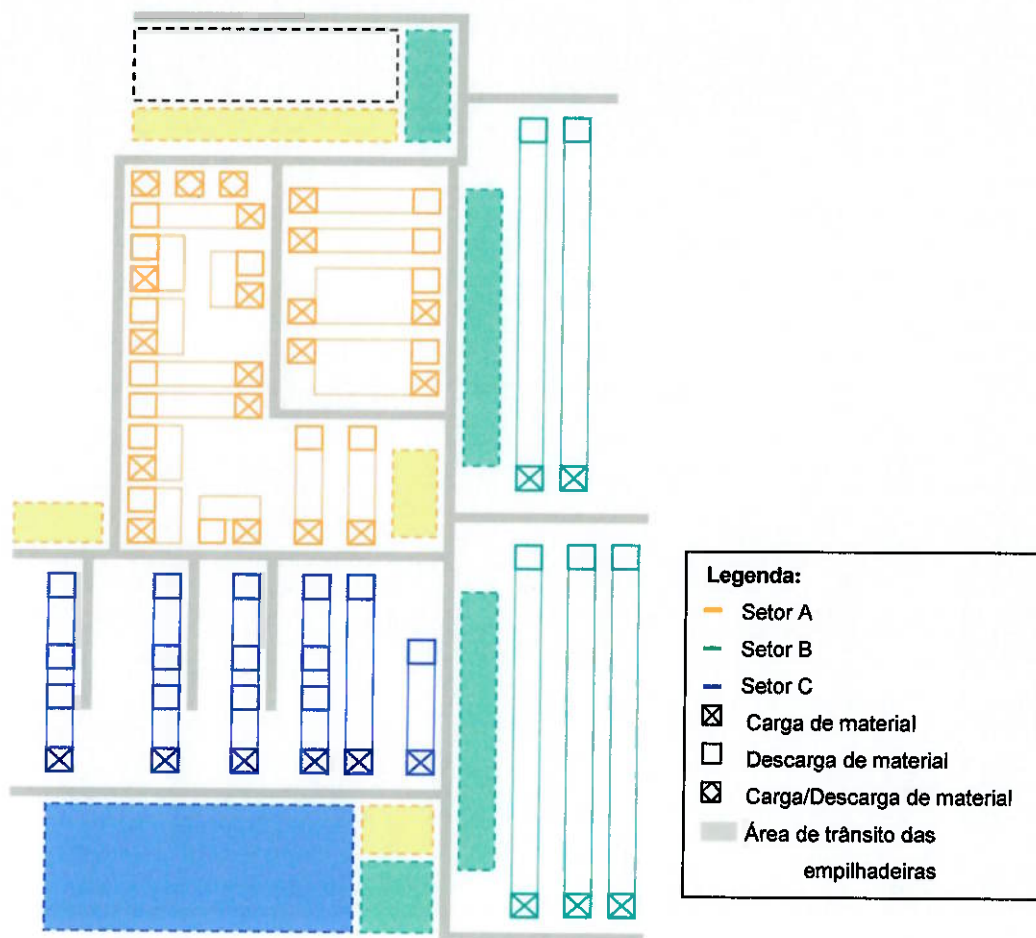


Figura 4.2 Esquema ilustrativo do posicionamento das máquinas, locais de estocagem e o trânsito das empilhadeiras no interior da fábrica.

Esta planta tem uma área de cerca de 28.000 m². No “setor A” há 18 máquinas de processamento de material e 4 centros de estoque, no “setor B” há 5 máquinas e 4 centros de estoques e “no setor C” há 6 máquinas e 1 centro de estoque.

A malha de movimentação do sistema é ilustrada no grafo de Figura 4.3 e representa o percurso das empilhadeiras no interior da fábrica. Os *nós* representam centros de carga e descarga de materiais. Os *arcos* da malha de movimentação são todos bidirecionais, isto é, indicam que as empilhadeiras se movimentam em ambos os sentidos.

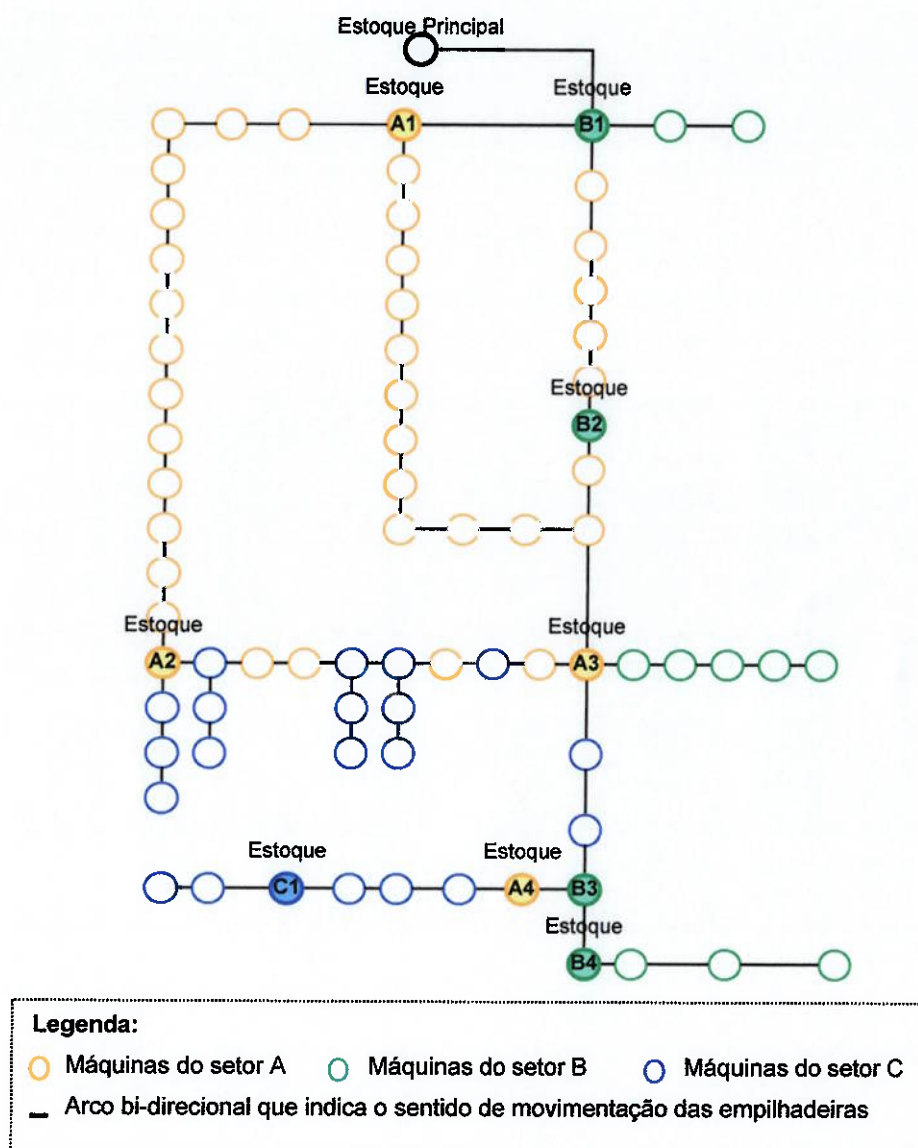


Figura 4.3 Malha de movimentação do sistema.

4.3. Definição de como os modelos se relacionam

Utilizando-se do procedimento descrito no item 3.3.3 tem-se na Figura 4.6 como um exemplo, o modelo PFS da parte seleccionada da malha de movimentação.

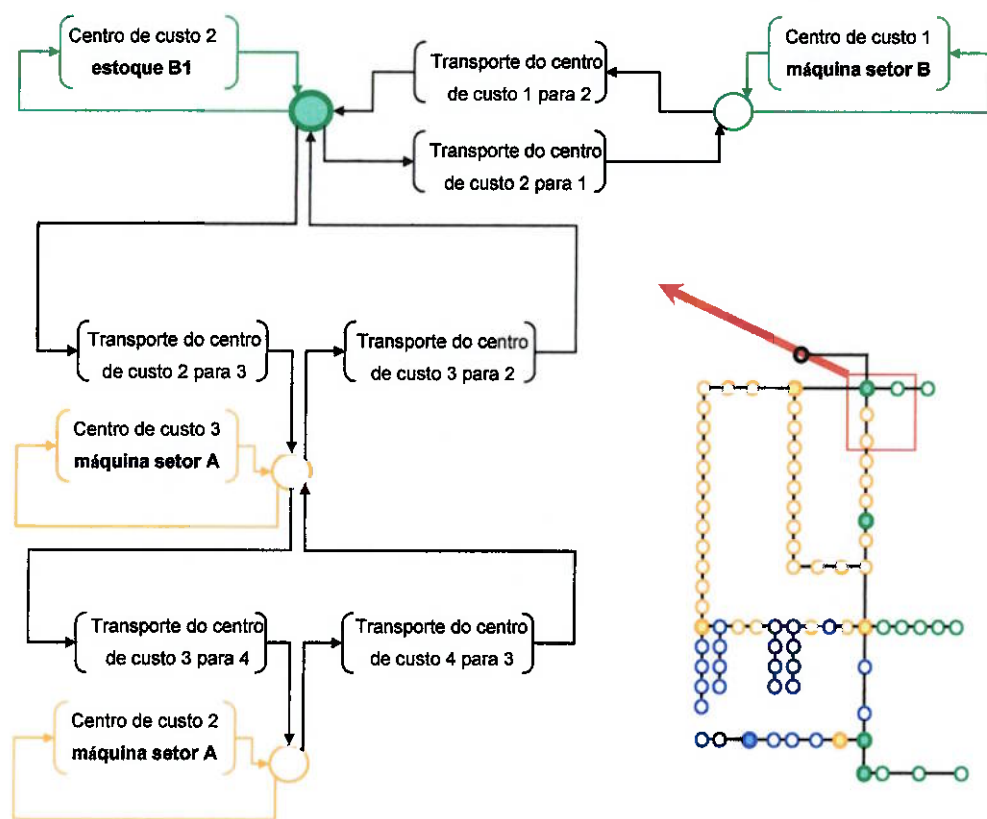


Figura 4.6 Modelo PFS da malha de movimentação da parte selecionada.

Para obter o modelo PFS de toda malha de movimentação do percurso das empilhadeiras é preciso replicar da mesma forma como ilustrado na Figura 4.6 desenvolver as atividades para toda malha. Para realizar uma especificação da funcionalidade de cada empilhadeira é desenvolvido um outro modelo PFS representando o comportamento dinâmico das atividades [*transporte do centro de custo de i para j*].

A Tabela 4.1 a seguir descreve os principais estados possíveis das empilhadeiras em operação no sistema.

Tabela 4.1 Estados atingidos por uma empilhadeira em operação no sistema

Estado	Descrição do estado
Espera com material	Empilhadeira em estado de espera com material
Espera sem material	Empilhadeira em estado de espera sem material
Movimento com material	Empilhadeira em movimento transportando material
Movimento sem material	Empilhadeira em movimento sem material

Considerando as informações da Tabela 4.1 a seguir, na Figura 4.7 apresenta-se a modelagem em PFS do comportamento dinâmico das atividades de cada empilhadeira.

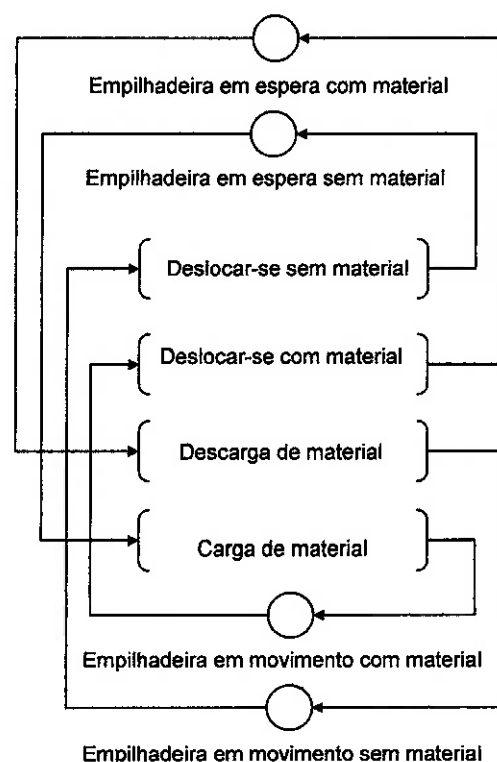


Figura 4.7 Modelo PFS das atividades de cada empilhadeira [transporte de material do centro de custo i para j].

4.4. Detalhamento dos componentes

Detalhando por exemplo, o modelo PFS da Figura 4.7, isto é, utilizando os elementos MFG para representar o refinamento de cada uma das atividades, obtêm-se o grafo apresentado na Figura 4.8.

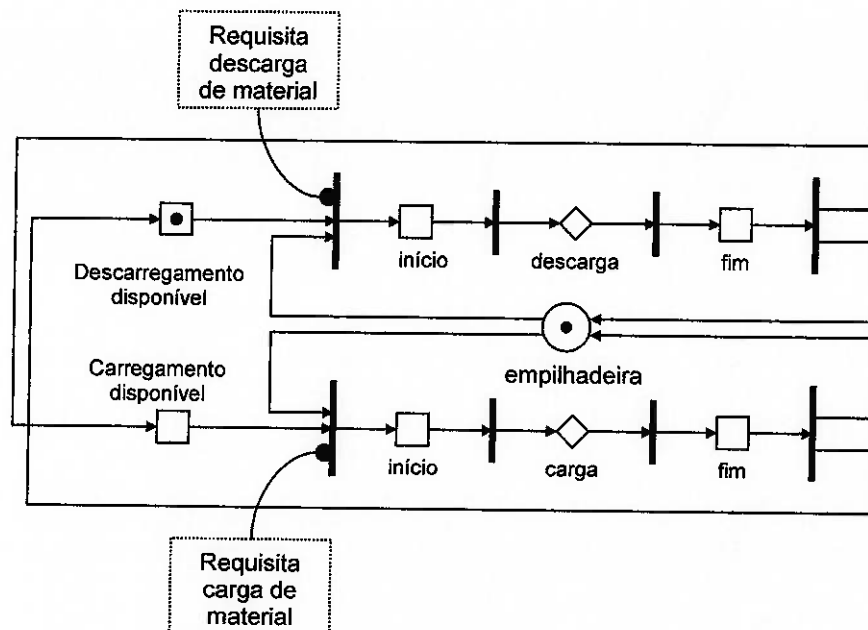


Figura 4.9 Modelo MFG correspondente à operação de carga ou descarga de material.

A movimentação de cada empilhadeira é feita seguindo a requisição de carga/descarga de material nos centros de custos. Assim, na Figura 4.10 é ilustrado o modelo MFG da operação correspondente ao transporte de materiais entra os centros de custos.

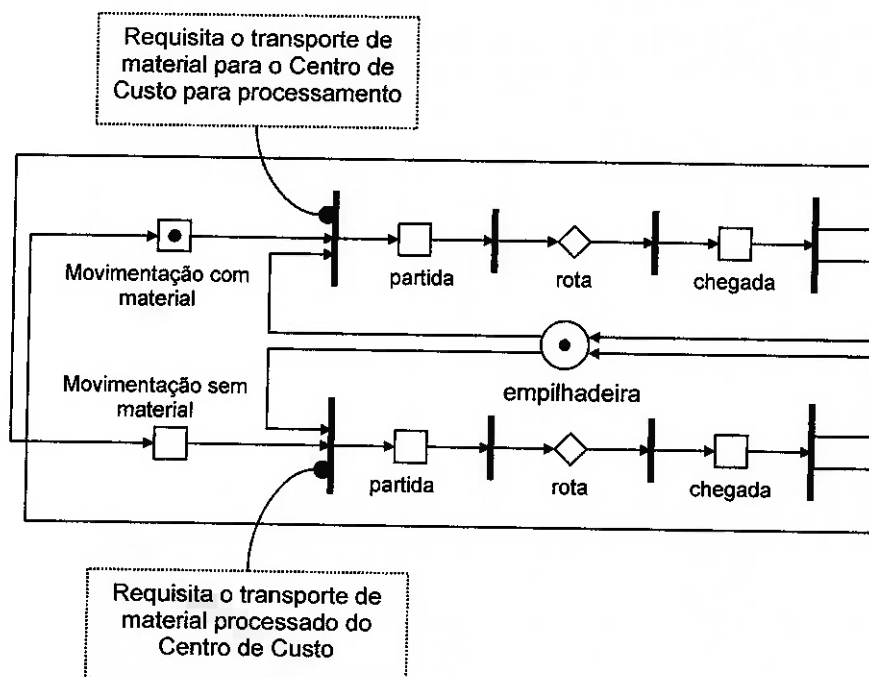


Figura 4.10 Modelo MFG correspondente à operação de movimentação de uma empilhadeira.

A partir deste modelo que representa a funcionalidade dos elementos que realizam o transporte no sistema, realiza-se uma composição destes modelos de modo a se obter a modelagem de todas as rotas a serem percorridas por cada empilhadeira descrevendo as atividades realizadas para o transporte de material entre os centros de custo e as atividades de carga/ descarga desses materiais nesses centros.

Capítulo 5

ESTUDO DE CASO - ANÁLISE

Uma vez que o modelo do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais está finalizado, é possível fazer uma análise qualitativa e quantitativa do sistema observando o comportamento dinâmico.

Neste capítulo será feita primeiramente a análise qualitativa do modelo do sistema obtido no Capítulo 4 e em seguida será feita a análise quantitativa através da conversão do modelo obtido e os elementos do ProModel descritos no Capítulo 3, item 3.2. No final do capítulo será apresentado os resultados e as análises.

5.1. Análise Estrutural e Qualitativa

O modelo em PFS/MFG permite visualizar e analisar a estrutura do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais. Através do modelo PFS tem-se a especificação da estrutura das atividades que envolvem o transporte e a movimentação de materiais. Todas as atividades relacionadas com as empilhadeiras são explicitadas assim como a relação destas atividades e os respectivos *centros de custos*, vide Figura 4.6. Note que este é um meio eficiente para obter a confirmação por parte dos responsáveis pela planta sobre o funcionamento do sistema.

O modelo detalhado da atividade de transporte de material é analisado para identificar os estados atingidos por uma empilhadeira em operação, vide Figura 4.7, isto é, para através desse procedimento verifica-se todos os possíveis estados em que a empilhadeira pode se encontrar dentro da fábrica. No presente caso de estudo, por exemplo, foram identificadas duas possibilidades, ou a empilhadeira está em repouso ou em movimento, em ambas a empilhadeira pode estar com material ou sem material. Estes são os estados considerados para as empilhadeiras e, as atividades que elas

realizam são de deslocamento para os centros de custos e de carga/descarga de material nos centros de custos. Note que num outro estudo de caso, podem-se incluir outras atividades como: manutenção das empilhadeiras, recarga de energia, substituição do condutor, etc.

Voltando ao caso considerado no MFG, vide Figura 4.8, é analisado para caracterizar a evolução dinâmica do sistema através das marcações alcançáveis a partir de uma certa marcação inicial. A análise num nível maior de detalhamento é realizada com o MFG das Figuras 4.9 e 4.10, onde descreve as atividades envolvidas na carga/descarga de material e na movimentação de materiais.

Usando um procedimento análogo a outras partes relevantes do sistema, verifica-se se os modelos condizem com a estrutura do sistema de transporte e/ou movimentação em questão e se qualitativamente estes modelos estão de acordo com as especificações do sistema.

5.2. Análise Funcional e Quantitativa

Partindo-se da malha de movimentação do capítulo 4, item 4.2, há 75 *locais*, dentre eles 65 *locais* de processamento de materiais e 10 *locais* de estocagem de material.

Nesta parte do estudo, as máquinas da planta industrial são codificadas considerando o setor em que se encontra, assim sendo as máquinas do setor A são codificadas com a letra “a” mais um número, as máquinas do setor B são codificadas com a letra “b” mais um número e as máquinas do setor C são codificadas com a letra “c” mais um número. A entrada e saída de material estão fisicamente localizados em diferentes pontos e, portanto, considera-se que cada máquina possui um ou mais *locais*. No código do *local* de entrada de material é acrescido com a palavra “in” e no código do *local* de saída de material é acrescido com a palavra “out”. No caso do setor C, em que há mais de um *local* de entrada de material além da palavra “in” é acrescido uma numeração em romano.

A seguir, na Tabela 5.1 são listados os *locais* do setor A, na Tabela 5.2 os *locais* do setor B, na Tabela 5.3 os *locais* do setor C e na Tabela 5.4 os *locais* de estoque de material com as suas respectivas capacidades de armazenamento das entidades.

Tabela 5.1 Locais de processamento de materiais do setor A.

Locais do setor A		
máquinas	entrada de material	saída de material
a1	a1_in	a1_out
a2	a2_in	a2_out
a3	a3_in	a3_out
a4	a4_in	a4_out
a5	a5_in	a5_out
a6	a6_in	a6_out
a7	a7_in	a7_out
a8	a8_in	a8_out
a9	a9_in	a9_out
a10	a10_in	a10_out
a11	a11_in	a11_out
a12	a12_in	a12_out
a13	a13_in	a13_out
a14	a14_in	a14_out
a15	a15_in	a15_out
a16	a16_in	a16_out
a17	a17_in	a17_out
a18	a18_in	a18_out

Tabela 5.2 Locais de processamento de materiais do setor B.

Locais do setor B		
máquinas	entrada de material	saída de material
b1	b1_in	b1_out
b2	b2_in	b2_out
b3	b3_in	b3_out
b4	b4_in	b4_out
b5	b5_in	b5_out

Tabela 5.3 Locais de processamento de materiais do setor C.

Locais do setor C				
máquinas	entradas			saídas
c1	c1_in (I)	c1_in (II)	c1_in (III)	c1_out
c2	c2_in (I)	c2_in (II)	c2_in (III)	c2_out
c3	c3_in (I)	c3_in (II)	c3_in (III)	c3_out
c4	c4_in (I)	c4_in (II)	c4_in (III)	c4_out
c5	c5_in			c5_out
c6	c6_in			c6_out

Tabela 5.4 Capacidade dos estoques.

Local	Capacidade
estoque principal	2000
estoque A1	200
estoque A2	90
estoque A3	50
estoque A4	90
estoque B1	70
estoque B2	250
estoque B3	270
estoque B4	270
estoque C1	600

Há no total 34 *entidades* dentro do sistema que representam os materiais que circulam no interior da fábrica. A empresa produz 6 tipos de latas que são os produtos finais enviados para os clientes. Cada tipo de lata possui um conjunto de materiais que são os componentes intermediários representados pelas respectivas *entidades* que podem ser vistas nas colunas da Tabela 5.5, onde em cada coluna está agrupado o conjunto de componentes dos respectivos tipos de lata.

Tabela 5.5 As 34 entidades processadas no modelo.

Entidades					
lata 1	lata 2	lata 3	lata 4	lata 5	lata 6
fardo 1	fardo 2	fardo 3	fardo 4	fardo 5	fardo 6
rótulo 1	rótulo 2	rótulo 3	rótulo 4	rótulo 5	rótulo 6
tira 1	tira 2	tira 3	tira 4		
anel 1	anel 2	anel 3	anel 4		
fundo 1	fundo 2	fundo 3	fundo 4		
tampa 1	tampa 2	tampa 3	tampa 4		

Os *recursos* representam as empilhadeiras que transportam os materiais no interior da fábrica. Assim, considerando-se a atual situação da planta, o número de recursos disponíveis são 5.

O trabalho das empilhadeiras divide-se em 3 setores dentro da fábrica. Portanto, modela-se um *caminho* para cada setor em que há uma interface com os *locais* relacionados com o respectivo setor, seguindo a divisão apresentada na malha de movimentação da Figura 4.3. Em cada *caminho* são alocados os *recursos* correspondentes ao setor.

Os *processos* envolvidos dos 6 tipos de lata serão mostrados a seguir em forma de tabelas. Na Tabela 5.6 está descrito os processos de fabricação da lata tipo 1 e os recursos utilizados, na Tabela 5.7 está descrito os processos da lata tipo 2, na

Tabela 5.8 está descrito os processos da lata tipo 3, na Tabela 5.9 está descrito os processos da lata tipo 4, na Tabela 5.10 está descrito os processos da lata tipo 5 e na Tabela 5.11 está descrito os processos da lata tipo 6.

Tabela 5.6 Descrição dos processos envolvidos para a fabricação da lata tipo 1.

entidade	local	destino	recurso	saída
fardo 1	estoque principal	b1_in	emp_B	fardo 1
		b2_in	emp_B	fardo 1
		b3_in	emp_B	fardo 1
		b4_in	emp_B	fardo 1
		b5_in	emp_B	fardo 1
	b1_out b2_out	estoque B2	emp_B	fardo 1
			emp_B	fardo 1
tira 1	b3_out b4_out b5_out	estoque B4	emp_B	fardo 1
			emp_B	fardo 1
	estoque B2	a4_in	emp_A	fardo 1
			emp_A	fardo 1
	a4_out	estoque A1	emp_A	fardo 1
			emp_A	fardo 1
	estoque A1	a5_in	emp_A	fardo 1
tampa 1	a5_out	estoque A1	emp_A	tira 1
	estoque A1	a11_in	emp_A	tira 1
		a13_in	emp_A	tira 1
		a14_in	emp_A	tira 1
		a15_in	emp_A	tira 1
anel 1	a11_out	estoque A4	emp_A	tampa 1
	a13_out	estoque A4	emp_A	tampa 1
fundo 1	a15_out	estoque A2	emp_A	anel 1
	estoque A2	c1_2	emp_C	anel 1
			emp_C	anel 1
rótulo 1	a14_out	estoque A2	emp_A	fundo 1
lata 1	estoque A2	c1_3	emp_C	fundo 1
	estoque B4	c1_1	emp_C	rótulo 1
	c1_out	estoque C1	emp_C	lata 1

Tabela 5.7 Descrição dos processos envolvidos para a fabricação da lata tipo 2.

entidade	local	destino	recurso	saída
fardo 2	estoque principal	b1_in	emp_B	fardo 2
		b2_in	emp_B	fardo 2
		b3_in	emp_B	fardo 2
		b4_in	emp_B	fardo 2
		b5_in	emp_B	fardo 2
	b1_out b2_out	estoque B2	emp_B emp_B	fardo 2 fardo 2
	b3_out b4_out b5_out	estoque B3	emp_B emp_B emp_B	fardo 2 fardo 2 fardo 2
	estoque B2	a4_in	emp_A	fardo 2
	a4_out	estoque A1	emp_A	fardo 2
	estoque A1	a3_in	emp_A	fardo 2
tira 2	a3_out	estoque A1	emp_A	tira 2
	estoque A1	a7_in	emp_A	tira 2
		a18_in	emp_A	tira 2
		a16_in	emp_A	tira 2
tampa 2	a7_out	estoque A4	emp_A	tampa 2
anel 2	a18_out	estoque A2	emp_A	anel 2
	estoque A2	c2_2	emp_C	anel 2
fundo 2	a16_out	estoque A2	emp_A	fundo 2
	estoque A2	c2_3	emp_C	fundo 2
rótulo 2	estoque B3	c2_1	emp_C	rótulo 2
lata 2	c2_out	estoque C1	emp_C	lata 2

Tabela 5.8 Descrição dos processos envolvidos para a fabricação da lata tipo 3.

entidade	local	destino	recurso	saída
fardo 3	estoque principal	b1_in	emp_B	fardo 3
		b2_in	emp_B	fardo 3
		b3_in	emp_B	fardo 3
		b4_in	emp_B	fardo 3
		b5_in	emp_B	fardo 3
	b1_out b2_out	estoque B2	emp_B emp_B	fardo 3 fardo 3
		estoque B1	emp_B	fardo 3
b3_out b4_out b5_out	emp_B emp_B emp_B		fardo 3 fardo 3 fardo 3	
	estoque B2		a4_in	emp_A
	a4_out	estoque A1	emp_A	fardo 3
	estoque A1	a2_in	emp_A	fardo 3
tira 3	a2_out	estoque A1	emp_A	tira 3
	estoque A1	a6_in	emp_A	tira 3
		a10_in	emp_A	tira 3
a17_in		emp_A	tira 3	
tampa 3	a6_out	estoque A4	emp_A	tampa 3
anel 3	a17_out	estoque A3	emp_A	anel 3
	estoque A3	c3_2	emp_C	anel 3
fundo 3	a10_out	estoque A3	emp_A	fundo 3
	estoque A2	c3_3	emp_C	fundo 3
rótulo 3	estoque B1	c3_1	emp_C	rótulo 3
lata 3	c3_out	estoque C1	emp_C	lata 3

Tabela 5.9 Descrição dos processos envolvidos para a fabricação da lata tipo 4.

entidade	local	destino	recurso	saída
fardo 4	estoque principal	b1_in	emp_B	fardo 4
		b2_in	emp_B	fardo 4
		b3_in	emp_B	fardo 4
		b4_in	emp_B	fardo 4
		b5_in	emp_B	fardo 4
	b1_out b2_out	estoque B2	emp_B emp_B	fardo 4 fardo 4
		estoque B1	emp_B	fardo 4
	emp_B		fardo 4	
	emp_B		fardo 4	
	estoque B2	a4_in	emp_A	fardo 4
a4_out	estoque A1	emp_A	fardo 4	
estoque A1	a1_in	emp_A	fardo 4	
tira 4	a1_out	estoque A1	emp_A	tira 4
	estoque A1	a8_in	emp_A	tira 4
		a9_in	emp_A	tira 4
a12_in		emp_A	tira 4	
tampa 4	a8_out	estoque A4	emp_A	tampa 4
anel 4	a9_out	estoque A3	emp_A	anel 4
	estoque A3	c4_2	emp_C	anel 4
fundo 4	a12_out	estoque A3	emp_A	fundo 4
	estoque A3	c4_3	emp_C	fundo 4
rótulo 4	estoque B1	c4_3	emp_C	rótulo 4
lata 4	c4_out	estoque C1	emp_C	lata 4

Tabela 5.10 Descrição dos processos envolvidos para a fabricação da lata tipo 5.

entidade	local	destino	recurso	saída
fardo 5	estoque principal	b3_in	emp_B	fardo 5
		b4_in	emp_B	fardo 5
		b5_in	emp_B	fardo 5
	b3_out b4_out b5_out	estoque B1	emp_B emp_B emp_B	fardo 5 fardo 5 fardo 5
			emp_B	fardo 5
rótulo 5	estoque B1	c5_in	emp_C	rótulo 5
lata 5	c5_out	estoque C1	emp_C	lata 5

Tabela 5.11 Descrição dos processos envolvidos para a fabricação da lata tipo 6.

entidade	local	destino	recurso	saída
fardo 6	estoque principal	b3_in	emp_B	fardo 6
		b4_in	emp_B	fardo 6
		b5_in	emp_B	fardo 6
	b3_out b4_out b5_out	estoque B1	emp_B emp_B emp_B	fardo 6 fardo 6 fardo 6
			emp_B	fardo 6
rótulo 6	estoque B1	c6_in	emp_C	rótulo 6
lata 6	c6_out	estoque C1	emp_C	lata 6

5.2.1. Estratégia de Simulação Adotada

A simulação é realizada com o intuito de analisar as soluções que otimizam a utilização das empilhadeiras no transporte de material. Assim sendo, os testes consistem em variar o número de empilhadeiras e analisar como as empilhadeiras são aproveitadas, assim como avaliar a influência da divisão de tarefas das empilhadeiras por setores.

Assim criou-se 2 modelos do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais para serem simulados no ProModel. No primeiro modelo há 3 *caminhos* onde cada *recurso* (empilhadeira) é alocado de acordo com o setor em que trabalha. No segundo modelo há apenas 1 *caminho* onde todos os *recursos* (empilhadeiras) estão alocados, ou seja, não há divisão de atividades como no primeiro modelo. Através desses modelos busca-se analisar a influência no desempenho dos *recursos* (empilhadeiras) tendo a divisão de trabalho por setores dentro da fábrica.

Em cada *local* somente é possível a chegada ou a saída de uma *entidade*, ou seja, o *local* estará novamente disponível para carga ou descarga de uma nova *entidade* apenas quando a *entidade* processada for transportada pelo *recurso* (empilhadeira) para um outro *local*.

5.2.2. Resultados da Simulação

As Tabelas 5.12 e 5.13 apresentam os resultados obtidos alocando 5 *recursos* (empilhadeiras), sendo que um *recurso* (empilhadeira) está no “setor A”, dois *recursos* (empilhadeiras) estão no “setor B” e os outros dois *recursos* (empilhadeiras) estão no “setor C”.

Tabela 5.12 Resultado dos 5 *recursos* (empilhadeiras) trabalhando setorialmente.

Name	Number time used	Pct utilization	Pct In Use	Pct Travel	Pct Idle
emp A	3799	9.26%	8.41%	0.84%	90.74%
emp B1	1773	42.76%	27.51%	15.25%	57.24%
emp B2	1867	42.58%	27.33%	15.26%	57.42%
emp C1	1867	35.19%	21.14%	14.06%	64.82%
emp C2	1867	5.97%	4.58%	1.39%	94.03%

Tabela 5.13 Resultado das entidades do sistema.

Name	Total Exits	Avg Time Wait (MIN)	Pct Wait For Res
anel 1	46	150	48.08%
anel 2	69	75	20.00%
anel 3	46	59	12.53%
anel 4	46	127	36.04%
fundo 1	46	143	47.05%
fundo 2	69	106	24.20%
fundo 3	46	57	12.18%
fundo 4	46	158	41.23%
rotulo 1	209	53	34.12%
rotulo 2	140	93	40.24%
rotulo 3	210	109	38.63%
rotulo 4	210	66	31.32%
tampa 1	47	137	51.27%
tampa 2	70	83	25.84%
tampa 3	46	68	15.92%
tampa 4	46	115	37.37%

As Tabelas 5.14 e 5.15 apresentam os resultados obtidos alocando 4 *recursos*, sendo que um *recurso* (empilhadeira) está no “setor A”, um *recurso* (empilhadeira) está no “setor B” e os outros dois *recursos* (empilhadeiras) estão no “setor C”.

Tabela 5.14 Resultado dos 4 recursos (empilhadeiras) trabalhando setorialmente.

Name	Number Times Used	Pct Utilization	Pct In Use	Pct Travel	Pct Idle
emp A	3379	8.24%	7.48%	0.76%	91.76%
emp B	3640	95.56%	57.10%	38.46%	4.44%
emp C1	1628	36.35%	21.77%	14.58%	63.65%
emp C2	950	5.90%	4.50%	1.40%	94.10%

Tabela 5.15 Resultado das entidades do sistema.

Name	Total Exits	Avg Time Wait (MIN)	Pct Wait For Res
anel 1	46	150	47.19%
anel 2	46	140	32.48%
anel 3	46	128	26.71%
anel 4	46	147	39.15%
fundo 1	46	143	46.04%
fundo 2	46	135	31.61%
fundo 3	46	144	29.00%
fundo 4	46	141	38.16%
rotulo 1	209	53	32.94%
rotulo 2	209	59	21.26%
rotulo 3	210	63	19.59%
rotulo 4	209	55	24.81%
tampa 1	47	137	50.41%
tampa 2	47	129	33.29%
tampa 3	46	120	26.22%
tampa 4	47	135	40.71%

A seguir, serão apresentados os resultados do modelo do sistema de movimentação de materiais com um *caminho* único onde todos os *recursos* serão alocados.

As Tabelas 5.16 e 5.17 mostram os resultados para 5 *recursos* (empilhadeiras) no sistema.

Tabela 5.16 Resultado dos 5 recursos trabalhando num único caminho.

Name	Number Times Used	Pct Utilization	Pct In Use	Pct Travel	Pct Idle
EMPIL.1	2687	36.86%	21.14%	15.73%	63.13%
EMPIL.2	2613	36.34%	21.13%	15.20%	63.67%
EMPIL.3	2605	36.46%	20.81%	15.64%	63.55%
EMPIL.4	2579	35.49%	20.24%	15.24%	64.52%
EMPIL.5	2562	35.37%	20.22%	15.15%	64.63%

Tabela 5.17 Resultado das entidades do sistema.

Name	Total Exits	Avg Time Wait (MIN)	Pct Wait For Res
anel 1	67	66	2.15%
anel 2	66	65	2.02%
anel 3	50	45	1.37%
anel 4	34	36	1.12%
fundo 1	67	61	1.96%
fundo 2	66	78	2.39%
fundo 3	50	82	2.42%
fundo 4	34	44	1.39%
rotulo 1	210	88	47.57%
rotulo 2	209	77	33.76%
rotulo 3	277	80	29.24%
rotulo 4	350	66	29.91%
tampa 1	68	72	2.35%
tampa 2	67	80	2.47%
tampa 3	51	54	1.62%
tampa 4	66	32	2.06%

As Tabelas 5.18 e 5.19 mostram os resultados para 4 *recursos* (empilhadeiras) no sistema.

Tabela 5.18 Resultado dos 4 recursos (empilhadeiras) trabalhando num único caminho.

Name	Number Times Used	Pct Utilization	Pct In Use	Pct Travel	Pct Idle
EMPIL.1	3285	46.98%	25.56%	21.42%	53.02%
EMPIL.2	3182	47.60%	26.11%	21.49%	52.40%
EMPIL.3	3304	47.35%	25.86%	21.48%	52.66%
EMPIL.4	3222	47.08%	26.06%	21.02%	52.92%

Tabela 5.19 Resultado das entidades do sistema.

Name	Total Exits	Avg Time Wait (MIN)	Pct Wait For Res
anel 1	66	59	1.89%
anel 2	62	58	1.79%
anel 3	51	48	1.41%
anel 4	35	58	1.76%
fundo 1	66	59	1.85%
fundo 2	62	53	1.62%
fundo 3	50	50	1.46%
fundo 4	36	74	2.24%
rotulo 1	209	90	47.80%
rotulo 2	233	82	33.71%
rotulo 3	276	80	28.73%
rotulo 4	339	72	31.59%
tampa 1	67	63	2.00%
tampa 2	63	70	2.14%
tampa 3	51	72	2.11%
tampa 4	70	34	2.03%

As Tabelas 5.20 e 5.21 mostram os resultados para 3 recursos (empilhadeiras) no sistema.

Tabela 5.20 Resultado dos 3 recursos (empilhadeiras) trabalhando num único caminho.

Name	Number Times Used	Pct Utilization	Pct In Use	Pct Travel	Pct Idle
EMPIL.1	4301	65.78%	34.48%	31.30%	34.22%
EMPIL.2	4304	65.65%	34.64%	31.01%	34.35%
EMPIL.3	4259	66.03%	34.33%	31.70%	33.97%

Tabela 5.21 Resultado das entidades do sistema.

Name	Total Exits	Avg Time Wait (MIN)	Pct Wait For Res
anel 1	65	66	1.91%
anel 2	59	40	1.12%
anel 3	48	58	1.56%
anel 4	37	29	0.86%
fundo 1	64	64	1.88%
fundo 2	58	69	1.92%
fundo 3	47	85	2.29%
fundo 4	38	52	1.50%
rotulo 1	210	88	46.25%
rotulo 2	252	85	32.22%
rotulo 3	289	75	25.97%
rotulo 4	327	70	30.71%
tampa 1	65	69	2.04%
tampa 2	59	73	2.04%
tampa 3	48	43	1.17%
tampa 4	74	43	2.43%

As Tabelas 5.22 e 5.23 mostram os resultados para 2 recursos (empilhadeiras) no sistema.

Tabela 5.22 Resultado dos 2 recursos (empilhadeiras) trabalhando num único caminho.

Name	Number Times Used	Pct Utilization	Pct In Use	Pct Travel	Pct Idle
EMPIL.1	5844	99.34%	49.30%	50.04%	0.66%
EMPIL.2	5817	99.33%	49.64%	49.69%	0.67%

Tabela 5.23 Resultado das entidades do sistema.

Name	Total Exits	Avg Time Wait (MIN)	Pct Wait For Res
anel 1	53	40	0.86%
anel 2	46	71	1.47%
anel 3	35	49	0.98%
anel 4	28	60	1.21%
fundo 1	53	106	2.21%
fundo 2	46	42	0.86%
fundo 3	35	67	1.33%
fundo 4	29	49	0.98%
rotulo 1	220	86	24.99%
rotulo 2	277	75	16.09%
rotulo 3	307	82	16.76%
rotulo 4	339	72	18.70%
tampa 1	54	84	1.78%
tampa 2	47	68	1.40%
tampa 3	35	59	1.19%
tampa 4	56	46	1.80%

As Tabelas 5.24 e 5.25 mostram os resultados para 1 recurso (empilhadeira) no sistema.

Tabela 5.24 Resultado de um recurso (empilhadeira) trabalhando num único caminho.

Name	Number Times Used	Pct Utilization	Pct In Use	Pct Travel	Pct Idle
EMPIL	6187	100%	50.42%	49.58%	0.00%

Tabela 5.25 Resultado das entidades do sistema.

Name	Total Exits	Avg Time Wait (MIN)	Pct Wait For Res
anel1	38	225	2.66%
anel2	16	78	0.95%
anel3	17	107	1.19%
anel4	19	138	1.64%
fundo1	38	219	2.55%
fundo2	16	144	1.70%
fundo3	17	152	1.67%
fundo4	20	75	0.89%
rotulo1	29	151	2.01%
rotulo2	155	156	2.94%
rotulo3	153	153	2.85%
rotulo4	139	166	3.19%
tampa1	39	212	2.50%
tampa2	17	147	1.75%
tampa3	17	125	1.43%
tampa4	38	109	2.47%

5.2.3. Análise e Discussão dos Resultados

Numa primeira análise observa-se que com 5 *recursos* (empilhadeiras) trabalhando no seu respectivo *caminho*, os *recursos* (empilhadeiras) do setor A e C são poucos utilizados se comparados com os *recursos* (empilhadeiras) do “setor B”. Este fato pode ser visualizado analisando a Tabela 5.26 onde se tem os resultados obtidos com 5 e 4 *recursos* (empilhadeiras) alocados nos respectivos *caminhos*. Ou seja, pode-se diminuir o número de *recursos* (empilhadeiras) no “setor B”, porém isso não afeta o fato dos *recursos* (empilhadeiras) do setor A e C sejam pouco utilizados.

Tabela 5.26 Comparação dos resultados entre 5 e 4 *recursos* no sistema.

recursos	name	Pct Utilization	Pct Idle
5 empilhadeiras	emp A	9.26%	90.74%
	emp B1	42.76%	57.24%
	emp B2	42.58%	57.42%
	emp C1	35.19%	64.82%
	emp C2	5.97%	94.03%
4 empilhadeiras	emp A	8.24%	91.76%
	emp B	95.56%	4.44%
	emp C1	36.35%	63.65%
	emp C2	5.90%	94.10%

Numa segunda análise analisa-se a influência da divisão por setores de atuação dos *recursos* (empilhadeiras). A Tabela 5.27 apresenta os resultados para 5 *recursos* (empilhadeiras) comparando o sistema com 3 *caminhos* e 1 *caminho*.

Tabela 5.27 Comparação entre os dois tipos de modelos para 5 empilhadeiras.

modelo	Name	Pct Utilization	time used
3 caminhos	emp A	9.26%	3799
	emp B1	42.76%	1773
	emp B2	42.58%	1867
	emp C1	35.19%	1607
	emp C2	5.97%	978
1 caminho	EMPIL 1	36.86%	2687
	EMPIL 2	36.34%	2613
	EMPIL 3	36.46%	2605
	EMPIL 4	35.49%	2579
	EMPIL 5	35.37%	2562

Nota-se que o número de vezes que os *recursos* (empilhadeiras) do caso com 1 *caminho* foram acionados é cerca de 30% maior em relação ao caso com divisão por setores. Assim, para o caso com 1 *caminho*, os *recursos* (empilhadeiras) são utilizados

de uma forma mais equilibrada e distribuída possibilitando um aumento na eficiência de execução das atividades.

Este aumento da eficiência pode ser verificado comparando-se os dados da Tabela 5.27 com os dados das Tabelas 5.12 e 5.16, onde se nota que houve um aumento das *entidades* produzidas. Com uma distribuição mais uniforme das atividades dos *recursos* (empilhadeiras) aumentou-se a produtividade do sistema. Portanto, o modelo com 1 *caminho* mostra-se mais adequada em relação ao modelo com 3 *caminhos*.

Numa terceira análise verificou-se a influência do número de *recursos* (empilhadeiras) para o modelo de 1 *caminho*. Observando a Tabela 5.28 nota-se que à medida que o número de empilhadeiras diminui, aumenta-se como esperado o número de vezes que os *recursos* (empilhadeiras) são utilizados.

Tabela 5.28 Comparação dos resultados entre o número de *recursos* (empilhadeiras) para o modelo de 1 *caminho*.

<i>recursos</i>	times used	Avg Pct Utilization
5	13046	36%
4	12989	47%
3	12864	65%
2	11664	99%
1	6187	100%

O uso de apenas um ou dois *recursos* são descartadas, tendo em vista que há uma redução acentuada na produção e processamento de materiais. Os *recursos* (empilhadeiras) não conseguem realizar tantas atividades ao mesmo tempo. Observando a Tabela 5.24 nota-se que a produção das *entidades* no caso de se dispor de apenas 1 *recurso* (empilhadeira) sofre uma grande redução. No caso de 2 *recursos* (empilhadeiras) a redução da produção não é tão acentuada quanto no primeiro caso, porém continua numa situação crítica onde ambos os *recursos* estão trabalhando de 99% a 100% do tempo, ou seja, eles estão trabalhando no limite.

Analisando e fazendo comparações para os casos de 3, 4 e 5 *recursos* (empilhadeiras) pode-se dizer que no caso de 5 *recursos* (empilhadeiras), eles estão sendo pouco aproveitados pois cerca de 64% do tempo não estão em atividade, logo pode-se rever esta solução reduzindo o número de *recursos* (empilhadeiras).

No caso de 4 *recursos* (empilhadeiras), eles continuam sendo pouco aproveitados estando cerca de 53% do tempo sem realizar atividade de transporte de

material. Quanto ao aspecto do tempo em atividade e o tempo em que o *recurso* (empilhadeira) se encontra no estado de espera, a melhor opção é o caso com 3 *recursos* (empilhadeiras) no sistema, pois eles ficam cerca de 65% do tempo realizando alguma atividade.

Considerando os custos envolvidos para manter um *recurso* (empilhadeira) em atividade dentro do sistema (quanto menor o número, menor será o custo), o tempo em que os *recursos* (empilhadeiras) estão no estado de espera sem realizar o transporte de material e a influência do número de *recursos* (empilhadeiras) no fluxo de material do sistema, assim pode-se considerar que a melhor solução é de fato, 3 *recursos* (empilhadeiras) alocados num único *caminho*.

Portanto, eliminando a restrição de que cada *recurso* (empilhadeiras) execute apenas as atividades do seu setor, estes *recursos* (empilhadeiras) são melhor aproveitados, evitando casos de *recursos* (empilhadeiras) sobrecarregados que podem afetar na produtividade global do sistema. Em outras palavras, o sistema com 1 *caminho* distribui uniformemente as atividades das empilhadeiras, aproveitando melhor a sua capacidade e a sua eficiência.

Capítulo 6

COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES FINAIS

O estudo de sistemas de transporte e/ou movimentação de materiais em ambiente industrial vem de encontro a uma necessidade, por partes das empresas de dominarem os processos e serem competitivas. Um modelo representativo do sistema de transporte e/ou movimentação de materiais desenvolvidos conforme os procedimentos ilustrados neste trabalho permite desenvolver sua análise através de simulações, otimizando os recursos de movimentação.

O sistema de transporte e/ou movimentação de materiais modelado e analisado no presente trabalho é um sistema flexível onde às empilhadeiras realizam a movimentação de materiais no interior da fábrica. Estas, por sua vez, têm como características serem veículos autônomos e não possuírem restrições quanto ao movimento, isto é, não sofrem limitações devido às guias ou aos trilhos, por exemplo.

As empilhadeiras possuem desta forma, uma grande flexibilidade uma vez que elas se adaptam facilmente à mudanças de arranjo físico nas instalações fabris, e além de poderem se adaptar à implantação de novas estratégias de transporte e movimentação de materiais entre os centros de custo.

Uma vez que se pode considerar o sistema de transporte e/ou movimentação de materiais em ambiente fabril como sendo uma classe de sistemas a eventos discretos, podem-se utilizar as técnicas de Rede de Petri e suas derivações, como o PFS/MFG (*Production Flow Schema / Mark Flow Graph*) na sua modelagem. Esta técnica de modelagem é uma poderosa e eficiente ferramenta que permite realizar a modelagem hierárquica partindo-se de um modelo conceitual em PFS até chegar ao modelo funcional detalhado em MFG.

No presente trabalho estendeu-se e aplicou-se o procedimento de modelagem de sistemas flexível introduzido por Junqueira (2001), com o objetivo de otimizar o transporte de materiais no interior da fábrica realizada pelas empilhadeiras da empresa

“Brasilata S/A Embalagens Metálicas”, que forneceu os dados necessários para realizar o estudo de caso.

O trabalho também detalhou várias etapas do procedimento para apresentar de modo mais claro os documentos gerados em cada etapa e as ferramentas envolvidas. A característica da demanda de material no interior da fábrica pode ser estocástica ou determinística, pois apesar de haver uma programação prévia dos processamentos de materiais nas máquinas, há casos em que é necessário realizar o transporte de um certo material que não conste na programação.

Na simulação do modelo foi considerado que a demanda era somente determinística. Além deste fato foi considerada que apenas uma *entidade* (peça) de cada vez era processada nas máquinas. Somente após o término do processamento e depois da *entidade* ser transportada pelo *recurso* (empilhadeira) para um outro *local* (centro de custo), a máquina poderia receber uma nova *entidade*.

O modelo do sistema apresenta certas limitações onde buscou focar nas principais atividades realizadas pelas empilhadeiras que corresponde ao transporte de materiais entre os centros de custos. Há outras atividades que as empilhadeiras realizam dentro da fábrica sem ser o transporte de materiais, porém estas foram desconsideradas no modelo.

O foco do trabalho consistiu em analisar o sistema de transporte e/ou movimentação de materiais de um caso real, onde as atividades de transporte são realizadas pelas empilhadeiras de um centro de custo ao outro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JUNQUEIRA, F. **Modelagem de Sistemas Flexíveis de Movimentação de Materiais através de Redes de Petri Interpretadas**. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo. 2001.

MATSUSAKI, C. T. M. **Redes de F-MFG (Mark Flow Graph) e sua Aplicação no Projeto de Sistemas Antropocêntricos**. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo. 1998.

MIYAGI, P. E. **Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos**. Ed. Edgard Blücher, São Paulo. 1996.

MIYAGI, P. E. **Introdução à simulação discreta**. Apostila, EPUSP. São Paulo. 2004.

PETERSON, J. L. **Petri Net Theory and the Modeling of Systems**. Prentice-Hall, Englewoods Clifs., 1981.

SANTOS FILHO, D. J. **Sistemas Antropocêntricos de Produção Baseado em Redes de Petri Interpretadas**. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo. 1998.