

RAIANE RIBEIRO MACHADO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LOGÍSTICO DO TRANSPORTE
RODOVIÁRIO DE MADEIRA UTILIZANDO REDE DE PETRI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M149a
2006

Machado, Raiane Ribeiro, 1981-

Avaliação do desempenho logístico do transporte rodoviário de madeira utilizando Rede de Petri / Raiane Ribeiro Machado. – Viçosa : UFV, 2006.
xiv, 75f. : il. col. ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Márcio Lopes da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 66-70.

1. Madeira - Transporte. 2. Transporte rodoviário de carga. 3. Logística empresarial. 4. Entrega de mercadorias - Administração. 5. Redes de petri. 6. Modelos matemáticos. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.937

RAIANE RIBEIRO MACHADO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LOGÍSTICO DO TRANSPORTE
RODOVIÁRIO DE MADEIRA UTILIZANDO REDE DE PETRI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de julho de 2006.

Prof. Dr. Helio Garcia Leite
(Co-Orientador)

Prof. Dr. Amaury Paulo de Souza

Prof. Dr. Luciano José Minette

Prof. Dr. Laércio Antônio Gonçalves
Jacovine

Prof. Márcio Lopes da Silva
(Orientador)

Desde muito jovem o homem
busca o saber. Isto ocorre porque ele tem
consciência de sua natureza incompleta,
de sua condição homo sapiens .

Ele sabe que é a busca do conhecimento que,
certamente, o ajudará a criar um mundo melhor,
mais habitável, mais humano, mais justo.

Assim é que essa busca é infindável.
Desta forma, parafraseando um sábio
provérbio, posso afirmar:
“Dei mais um passo de uma longa caminhada”

P. S. Rodrigues

A Deus.

Aos meus pais Carlos e Sônia pela vida e oportunidades.

Aos meus irmãos Carla, Breno e Rodrigo pelo apoio.

Ao meu noivo Marcelo pela companhia e força.

À minha sobrinha Lígia pela alegria.

A toda minha família por acreditar.

AGRACEDIMENTO

Aos meus pais e irmãos, pela oportunidade de aprendizado e pelo apoio durante toda a minha vida acadêmica.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de treinamento no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro à pesquisa.

À Cenibra S.A., em especial a equipe de logística, pelo apoio e fornecimento de material necessário para a compilação deste trabalho.

Ao Professor Márcio Lopes das Silva, pela oportunidade concedida, pela orientação, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos Professores Helio Garcia Leite e Carlos Cardoso Machado, pelos ensinamentos, críticas, convivência e amizade ao longo deste trabalho.

Aos Professores Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, Amaury Paulo de Souza e Luciano José Minette, pelas contribuições.

À Ritinha, Fred e Chiquinho, pela boa acolhida e convivência sincera.

Ao Bruno Prata, da Universidade Federal do Ceará, pelo tempo e disposição em ajudar, pelas sugestões e críticas.

Aos professores das disciplinas cursadas, pelos ensinamentos, conhecimentos e crescimento.

Aos colegas da pós-graduação, em especial ao Eric, pelo apoio e companheirismo e pela amizade sincera.

BIOGRAFIA

RAIANE RIBEIRO MACHADO, filha de Carlos Cardoso Machado e Sônia Maria Ribeiro Machado, nasceu em Viçosa, Minas Gerais, em 28 de outubro de 1981.

Em março de 2004, graduou-se em Administração pela Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), em São João del Rei, MG.

Em agosto de 2004, iniciou o Curso de Mestrado em Ciência Florestal na UFV, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2006.

CONTEÚDO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE QUADROS..... | x |
| RESUMO..... | xi |
| ABSTRACT..... | xiii |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. O problema e a sua importância..... | 1 |
| 2. OBJETIVOS..... | 3 |
| 2.1. Objetivo geral..... | 3 |
| 2.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA..... | 4 |
| 3.1. O transporte florestal..... | 4 |
| 3.1.1. Modais de transporte florestal..... | 5 |
| 3.1.2. Fatores determinantes nas decisões sobre transporte florestal rodoviário..... | 7 |
| 3.1.2.1. Fatores técnicos..... | 7 |
| 3.1.2.2. Fatores econômicos..... | 7 |
| 3.1.3. Transporte florestal terceirizado..... | 8 |
| 3.2. Logística: Conceitos e Importância..... | 9 |
| 3.2.1. Gestão estratégica..... | 11 |

| | | |
|------------|--|----|
| 3.2.2. | Sistema logístico..... | 15 |
| 3.2.3. | Nível de serviço..... | 17 |
| 3.2.4. | Custos..... | 18 |
| 3.3. | Avaliação de desempenho logístico..... | 20 |
| 3.3.1. | Fundamentos..... | 21 |
| 3.3.2. | Importância..... | 21 |
| 3.3.3. | Controle..... | 22 |
| 3.4. | Medição do desempenho logístico..... | 24 |
| 3.5. | Indicadores de desempenho..... | 26 |
| 3.6. | Redes de Petri..... | 26 |
| 3.6.1. | Elementos e Comportamento..... | 28 |
| 3.6.2. | Conceitos básicos..... | 30 |
| 3.6.2.1. | Estrutura..... | 30 |
| 3.6.2.2. | Rede de Petri..... | 31 |
| 3.6.2.3. | Grafo e notação matricial..... | 31 |
| 3.6.2.4. | Transição sensibilizada..... | 32 |
| 3.6.2.5. | Disparo de uma transição..... | 32 |
| 3.6.3. | Propriedades do modelo..... | 33 |
| 3.6.3.1. | Propriedades comportamentais..... | 33 |
| 3.6.3.2. | Propriedades estruturais..... | 35 |
| 3.6.3.2.1. | Componentes conservativos, invariantes de lugar..... | 35 |
| 3.6.3.2.2. | Componentes repetitivos, invariantes de transição..... | 35 |
| 3.6.4. | Métodos de análise..... | 35 |
| 3.6.4.1. | Árvore de Cobertura..... | 36 |
| 3.6.4.2. | Matriz de incidência e equações de estado..... | 36 |
| 3.6.4.3. | Técnicas de redução ou decomposição..... | 36 |
| 3.6.5. | Rede de Petri Temporal (RPT)..... | 37 |
| 3.7. | O modelo ADELCAP..... | 38 |
| 3.7.1. | Objetivo do sistema..... | 38 |
| 3.7.2. | Sistemas..... | 39 |
| 3.7.3. | Modelagem..... | 39 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.8. | Aplicativos utilizados em análise e simulação de Redes de Petri..... | 40 |
| 4. | METODOLOGIA..... | 42 |
| 4.1. | Caracterização das regionais produtoras de madeira estudadas..... | 42 |
| 4.2. | Composições Veiculares de Carga..... | 44 |
| 4.3. | Coleta de Dados e Amostragem..... | 45 |
| 4.4. | Aplicação do modelo ADELCAP e os programas JARP e ARP..... | 46 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 52 |
| 5.1. | Modelagem e simulação dos cenários para a regional do Rio Doce..... | 52 |
| 5.1.1. | Cenário atual..... | 52 |
| 5.1.2. | Cenários hipotéticos..... | 54 |
| 5.2. | Modelagem e simulação dos cenários para a regional do Cocais das Estrelas..... | 55 |
| 5.2.1. | Cenário atual..... | 55 |
| 5.2.2. | Cenários hipotéticos..... | 56 |
| 5.3. | Avaliação de desempenho dos cenários..... | 57 |
| 5.4. | Avaliação do desempenho operacional do transporte rodoviário de madeira..... | 59 |
| 5.5. | Avaliação do desempenho econômico do transporte rodoviário de madeira..... | 61 |
| 6. | CONCLUSÕES..... | 64 |
| 7. | RECOMENDAÇÕES..... | 65 |
| 8. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 66 |
| 9. | ANEXOS..... | 71 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Vantagem competitiva e os três "Cs"..... | 12 |
| Figura 2 – Fatores influentes na competitividade empresarial..... | 13 |
| Figura 3 – Curva do custo-serviço logístico..... | 14 |
| Figura 4 – Desenvolvimento de estratégias e o planejamento..... | 15 |
| Figura 5 – Desempenho de sistemas logísticos..... | 21 |
| Figura 6 – Movimentação de ficha: Condição de disparo (a); Transição disparada (b)..... | 28 |
| Figura 7 – Exemplo de uma Rede de Petri..... | 31 |
| Figura 8 – Rede de Petri não limitada..... | 34 |
| Figura 9 – Rede não reiniciável (a); Grafo associado (b)..... | 35 |
| Figura 10 – Rede de Petri Temporal (RPT)..... | 37 |
| Figura 11 – Localização geográfica da fábrica da CENIBRA..... | 42 |
| Figura 12 – Descrição da cadeia logística do transporte de madeira rodoviário..... | 43 |
| Figura 13 – Detalhe de parte da cadeia logística do transporte de madeira rodoviário a ser efetivamente modelada..... | 44 |
| Figura 14 – Rodotrem para o transporte de quatro feixes de toras de 4,40m..... | 45 |
| Figura 15 – Estrutura de Rede de Petri Temporal (RPT) representando o transporte rodoviário de madeira das regionais do Rio Doce e Cocais das Estrelas..... | 49 |
| Figura 16 – Redução dos tempos dos ciclos de transporte de madeira em relação ao cenário atual..... | 59 |
| Figura 17 – Comportamento dos tempos dos ciclos operacionais dos cenários simulados..... | 60 |
| Figura 18 – Evolução do desempenho operacional simulado do transporte de madeira nos diferentes cenários..... | 61 |
| Figura 19 – Custo operacional do veículo por ciclo nos cenários de cada regional..... | 63 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Estrutura de custos dos modais de transporte de carga | 5 |
| Quadro 2 – Classificação dos modais de transporte de carga com base nas características operacionais..... | 6 |
| Quadro 3 – Participação (%) dos modais na matriz de transporte de carga..... | 7 |
| Quadro 4 – Distribuição da produção de madeira, área plantada e distância da indústria..... | 43 |
| Quadro 5 – Legenda da estrutura de Rede de Petri (RPT) representando o transporte rodoviário de madeira das regionais do Rio Doce e Cocais das Estrelas..... | 47 |
| Quadro 6 – Descrição dos cenários hipotéticos estudados..... | 50 |
| Quadro 7 – Resultados dos tempos médios por ciclo e total da Regional do Rio Doce..... | 54 |
| Quadro 8 – Resultados dos tempos médios por ciclo e total da Regional de Cocais das Estrelas..... | 57 |
| Quadro 9 – Resultados das simulações de desempenho do transporte de madeira na regional do Rio Doce..... | 58 |
| Quadro 10 – Resultados das simulações de desempenho do transporte de madeira na regional de Cocais das Estrelas..... | 59 |
| Quadro 11 – Resultados simulados de desempenho operacional do transporte de madeira (t/km.h)..... | 60 |
| Quadro 12 – Custos operacionais por ciclo de transporte de madeira na regional do Rio Doce..... | 62 |
| Quadro 13 – Custos operacionais por ciclo de transporte de madeira na regional de Cocais das Estrelas..... | 62 |

RESUMO

MACHADO, Raiane Ribeiro, M. S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2006.
Avaliação do desempenho logístico do transporte rodoviário de madeira utilizando Rede de Petri. Orientador: Márcio Lopes da Silva. Co-Orientadores: Carlos Cardoso Machado e Helio Garcia Leite.

O presente trabalho objetivou usar o modelo de avaliação do desempenho logístico de cadeias produtivas (ADELCAP) centrado nos tempos dos elementos do ciclo operacional do transporte de madeira, visando otimizar os recursos, garantir um fluxo contínuo de abastecimento e assegurar um volume adequado de entrada de madeira na fábrica. Para tanto, utilizou-se como estudo de caso uma empresa produtora de celulose no Estado de Minas Gerais. Inicialmente, diagnosticou a cadeia logística de suprimento de madeira da empresa para se conhecer os principais gargalos existentes ao longo da cadeia; definiu preliminarmente suas variáveis-chave, com base na caracterização da estrutura e do funcionamento da mesma e; finalmente identificou e avaliou os principais direcionadores que condicionam sua eficiência e competitividade. O modelo da cadeia logística de transporte de madeira utilizou a Rede de Petri Temporal, por trabalhar com dois tempos que correspondem a uma duração de sensibilização. Suas propriedades são: de simulação (por trabalhar com cenários hipotéticos), dinâmico (onde os valores de saída dependem dos valores de entrada); determinístico (as variáveis de saída não são aleatórias); contínuo (o tempo é medido por números reais) e; temporizados nas transições. Criaram-se cenários, com as mesmas variações nas duas regionais produtoras de madeira estudadas, e realizaram-se simulações com os *softwares* JARP e ARP, a fim de avaliar o desempenho operacional e econômico. As variações aplicadas nos cenários foram: a melhoria das

estradas florestais; aumento dos números de carregadores e; melhoria da eficiência da garagem. Para ambas as regionais, o cenário com as três variações (Cenário 7) apresentou a maior redução dos tempos dos ciclos de transporte de madeira em relação à situação atual, sendo 19,24% e 21,48%, respectivamente, para Rio Doce e Cocais das Estrelas. O custo operacional analisado é o valor pago pelo frete, não estando incluso o custo referente a investimentos. Tanto na regional do Rio Doce quanto em Cocais das Estrelas, apresentou uma maior redução no Cenário 7, de 20,09% e 21,22%, respectivamente.

ABSTRACT

MACHADO, Raiane Ribeiro, M. S., Universidade Federal de Viçosa, July, 2006.
Evaluation of performance logistic of the road transport of wood with Petri Net.
Adviser: Márcio Lopes da Silva. Co- Advisers: Carlos Cardoso Machado and Helio Garcia Leite.

The present research aimed to evaluate the logistic performance model of productive chains (ADELCAP) based on the duration of the elements of the operational cycle of the wood transport. This can optimize resources to guarantee a continuous flow of transport and to assure an appropriate volume of wood arriving into the factory. This case study was based on a cellulose producer of the State of Minas Gerais, Brazil. Diagnose of the logistic chain of wood supply of this company was initially made to identify possible bottle necks along the chain. The key variables were defined based on the characterization of the structure and operation tools and the main directions that affect the efficiency and competitiveness were identified and evaluated. The Temporary Petri Nets was the model of the logistic of wood transported because it works with two periods that correspond to the duration of sensibilization. Their properties are: simulation (working with hypothetical sceneries), dynamic (where the exit depend on the initial values); deterministic (the exit variables are not random); continuous (the time is measured with real numbers) and; temporal in the transitions. The sceneries were produced with the same variations of the two regional wood producing areas studied and their simulations were done with the software JARP and ARP to evaluate the operational and economical performance. The variations applied in the sceneries were: the improvement of forest highways; increasing the numbers of loaders and; improvement of the efficiency of the garage. The scenery with the three variations (scenery 7) presented the biggest reduction of the duration of the cycles

of wood transport for both regional ones compared to the current situation with 19.24% and 21.48%, respectively for the Rio Doce and Cocais das Estrelas regions in the Minas Gerais State, Brazil. The operational cost analyzed was the value paid for the freight without including the investment costs. This showed a bigger reduction with the Scenery 7 with 20.09% and 21.22%, respectively, for the regional of Rio Doce and Cocais das Estrelas.

1. INTRODUÇÃO

1.1. O problema e sua importância

O setor florestal é muito importante para o Brasil, pois desde seu descobrimento vem contribuindo para o desenvolvimento econômico. As florestas brasileiras exercem várias funções, além de produzir matéria-prima para importantes e estratégicos segmentos industriais nacionais, o setor florestal brasileiro, pela função que exerce no equilíbrio dos ecossistemas naturais e como fonte de biodiversidade, também oferece serviços ambientais insubstituíveis (COLOMBELLI FILHO, 1973).

O setor florestal brasileiro contribui com cerca de 5% na formação do PIB Nacional e com 8% do total das exportações, além de recolher R\$ 3 bilhões de impostos anualmente. Gera 1,6 milhão e 5,6 milhões de empregos diretos e indiretos, respectivamente, e uma receita anual de R\$ 20 bilhões. Conserva uma enorme diversidade biológica, tem 6,4 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 4,8 milhões com florestas de produção de Pinus e Eucaliptos; além de manter 2,6 milhões de hectares de florestas nativas, inseridas nos reflorestamentos; e cerca de 15 milhões de hectares de Florestas Nacionais (IPEF, 2006).

Um fator de real significado, que influi no resultado final do empreendimento florestal, é a sua localização com relação às fontes consumidoras, por causa do custo de transporte (COLOMBELLI FILHO, 1973). O transporte é o elemento mais importante do custo logístico para a grande maioria das empresas transportadoras, pois o frete costuma absorver cerca de 60% do gasto logístico. A frota de caminhões no país é superior a um milhão de veículos, com idade média de quase 14 anos. A malha rodoviária, que se encontra em péssimo estado de conservação, abrange mais de 1,7 milhão de quilômetros, sendo que menos de 10% (162 mil quilômetros) são pavimentados. O custo dos combustíveis se eleva e surgem também os custos decorrentes dos pedágios, já implantados em boa parte das rodovias

pavimentadas. Tudo isso faz com que os custos de transportes para os esquemas logísticos brasileiros sejam elevados (TABOADA, 2002).

A madeira é um produto de valor específico relativamente baixo, ou seja, o volume transportado é muito elevado e o valor da carga é baixo, isto torna o transporte um dos principais problemas na empresa florestal (SEIXAS, 1992).

O maior entrave para a completa e extensa difusão da logística nas empresas brasileiras é a falta de uma cultura de trabalho com enfoque integral. As empresas têm trabalhado durante décadas utilizando um enfoque vertical, por funções, o que era válido nas condições do ambiente de negócios do passado. As novas exigências, que o ambiente competitivo impõe às organizações, pregam a adoção de um enfoque integral, por objetivos, sistêmico, em que o melhor para cada parte não significa necessariamente o melhor para todo o sistema. Uma outra dificuldade consiste na carência de informações contábeis que sirvam para apoiar a correta tomada de decisões logísticas. Os sistemas de custeio convencionais oferecem os seus resultados orientados principalmente para os produtos, e a logística precisa de informações contábeis referentes às atividades. A falta de hábito de trabalho com parceiros constitui um outro problema. As exigências competitivas levam a estabelecer relacionamentos de parceria, tanto com fornecedores de produtos e serviços logísticos, como com os próprios clientes da empresa. Relações estas que permitem um funcionamento mais eficiente dos processos logísticos em que as empresas estão envolvidas. Uma outra grande dificuldade está na falta de ferramentas para avaliar o desempenho da logística. Há carência de ferramentas, com enfoque estruturado, para realizar uma eficiente e eficaz avaliação do desempenho dos processos logísticos (TABOADA, 2002).

A Rede de Petri é uma ferramenta de modelagem matemática e gráfica com atividades concorrentes e assíncronas que permitem a análise de sistemas complexos de produção, os quais são difíceis de serem modelados por técnicas tradicionais como Filas de Espera, Cadeias de Markov, Redes Pert, entre outras. Sendo assim, este trabalho se propôs a estudar a aplicabilidade de Redes de Petri como uma nova opção de estudo do transporte rodoviário de madeira, pois ainda não há um trabalho no setor florestal utilizando esta ferramenta.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral é utilizar o modelo de avaliação do desempenho logístico ADELCAP centrado nos tempos dos elementos do ciclo operacional do transporte de madeira, de regiões com diferentes características, visando otimizar recursos, garantir um fluxo contínuo de abastecimento e assegurar um volume adequado de entrada de madeira na fábrica.

2.2. Objetivos específicos

- a) Diagnosticar o atual nível de desenvolvimento logístico do transporte de madeira uma empresa;
- b) Testar as potencialidades da Rede de Petri Temporais como ferramenta de modelagem e análise da cadeia logística de suprimento de madeira rodoviário;
- c) Simular e analisar, a partir do modelo ADELCAP, cenários definidos por possibilidades de incremento de recursos físicos, utilizando-se os conceitos de Rede de Petri Temporal;
- d) Avaliar o desempenho da movimentação de madeira da floresta até o pátio da indústria.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O transporte florestal

O transporte mobiliza o produto entre diferentes estágios da cadeia de suprimento. Assim como outros fatores-chave da cadeia de suprimento, o transporte exerce grande influência tanto na responsividade, quanto na eficiência (CHOPRA e MEINDL, 2004). O transporte florestal consiste na movimentação de madeira dos pátios ou das margens das estradas florestais até o local de consumo (MACHADO et al., 2000). O transporte rodoviário é o mais utilizado no Brasil para movimentação de cargas. Contribuindo de maneira significativa na composição dos custos de diversos segmentos da economia (VELLOSO et al., 1997). A importância do caminhão como meio de transporte deve-se não só ao volume de carga a ser transportada, mas a versatilidade ou facilidade de deslocamento e interligação entre pontos de origens e destinos, situados em quase toda a superfície terrestre.

O transporte florestal envolve a operação de retirada da madeira dos pátios de estocagem até a entrega na unidade industrial (BALUTA, 1989), sendo o responsável pelo abastecimento dessa matéria-prima nos locais de consumo (MARQUES, 1994). Os custos de transporte são compostos por todos os gastos envolvidos nestas operações, resultando, em determinadas situações, em elevados custos da madeira (LEITE, 1992). Estes custos são geralmente elevados, pois consideram a distância e o fato de os veículos de transporte florestal viajarem carregados em um único sentido (MACHADO et al., 2000). Além disso, a madeira é um produto de valor específico relativamente baixo, quando comparado com outras matérias-primas ou produtos finais, ou seja, o volume transportado é muito elevado e o valor da carga é baixo, isto torna o transporte florestal um dos principais problemas na empresa florestal. (SEIXAS, 1992).

Grande parte do transporte no País está sendo feito com custos acima do desejável, tanto é verdade que um dos principais componentes do “custo Brasil” deve-se aos problemas relacionados ao transporte. No caso florestal, este custo pode representar cerca de 60% do custo total da madeira posta na unidade consumidora (MARQUES, 1994).

3.1.1. Modais de transporte florestal

Os cinco modais básicos de transporte são o ferroviário, o rodoviário, o aquaviário, o dutoviário e o aéreo. A importância relativa de cada modal pode ser medida em termos da quilometragem do sistema, volume de tráfego, receita e natureza da composição do tráfego. O Quadro 1 resume a estrutura de custos fixos e variáveis de cada modal, ao passo que o Quadro 2 classifica as características operacionais de cada modal quanto à velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência (NAZÁRIO et al., 2005).

Quadro 1 – Estrutura de custos dos modais de transporte de carga

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Ferrovário: Altos custos fixos em equipamentos, terminais, vias férreas, etc. Custo variável baixo. |
| <ul style="list-style-type: none">• Rodoviário: Custos fixos baixos (rodovias estabelecidas e construídas com fundos públicos). Custo variável médio (combustível, manutenção, etc.) |
| <ul style="list-style-type: none">• Aquaviário: Custo fixo médio (navios e equipamentos). Custo variável baixo (capacidade para transportar grande quantidade de tonelagem) |
| <ul style="list-style-type: none">• Dutoviário: Custo fixo mais elevado (direitos de acesso, construção, requisitos para controle das estações e capacidade de bombeamento). Custo variável mais baixo (nenhum custo de mão-de-obra de grande importância) |
| <ul style="list-style-type: none">• Aeroviário: Custo fixo alto (aeronaves e manuseio, e sistemas de carga). Alto Custo variável (combustível, mão-de-obra, manutenção, etc.) |

Fonte: Nazário et al. (2005)

Quadro 2 – Classificação dos modais de transporte de carga com base nas características operacionais

| Características Operacionais | Ferroviário | Rodoviário | Aquaviário | Dutoviário | Aeroviário |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Velocidade | 3 | 2 | 4 | 5 | 1 |
| Disponibilidade | 2 | 1 | 4 | 5 | 3 |
| Confiabilidade | 3 | 2 | 4 | 1 | 5 |
| Capacidade | 2 | 3 | 1 | 5 | 4 |
| Freqüência | 4 | 2 | 5 | 1 | 3 |
| Resultado | 14 | 10 | 18 | 17 | 16 |

Fonte: Nazário et al. (2005)

A velocidade é o tempo decorrido de movimentação em uma dada rota, também conhecido como *transit time*, sendo o modal aéreo o mais rápido de todos. A disponibilidade é a capacidade que um modal tem de atender qualquer par origem-destino de localidades. As transportadoras rodoviárias apresentam a maior disponibilidade já que conseguem dirigir-se diretamente para os pontos de origem e destino, caracterizando um serviço porta-a-porta. A confiabilidade refere-se à variabilidade potencial das programações de entrega esperadas ou divulgadas. Os dutos, devido ao seu serviço contínuo e à possibilidade restrita de interferência pelas condições de tempo e de congestionamento, ocupam lugar de destaque no item confiabilidade. A capacidade refere-se à possibilidade de um modal de transporte de lidar com qualquer requisito de transporte, como tamanho e tipo de carga. O transporte realizado pela via marítimo-fluvial é o mais indicado para essa tarefa. A classificação final refere-se à freqüência, que está relacionada à quantidade de movimentações programadas. Novamente, os dutos lideram o item freqüência devido ao seu contínuo serviço realizado entre dois pontos. A preferência pelo transporte rodoviário é em parte explicada por sua classificação de destaque em todas as cinco características. Transportadoras rodoviárias que operam sistemas rodoviários de classe mundial ocupam o primeiro ou o segundo lugar em todas as categorias, exceto no item capacidade (Quadro 2).

No Brasil ainda existe uma série de barreiras que impedem que todas as alternativas modais, multimodais e intermodais sejam utilizadas da forma mais racional. Isto é reflexo do baixo nível de investimentos verificado nos últimos anos com relação à conservação, ampliação e integração dos sistemas de transporte. Apesar de iniciativas como o plano Brasil em Ação e o processo de privatização de portos e ferrovias pouca coisa mudou na matriz

brasileira (Quadro 3). A forte predominância no modal rodoviário prejudica a competitividade em termos de custo de diversos produtos (NAZÁRIO et al., 2005).

Quadro 3 – Participação (%) dos modais na matriz de transporte de carga

| | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| Aéreo | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Aquaviário | 10,3 | 11,5 | 11,5 | 11,6 | 12,8 |
| Dutoviário | 4,0 | 4,0 | 3,8 | 4,5 | 4,4 |
| Ferroviário | 23,3 | 22,3 | 20,7 | 20,7 | 19,9 |
| Rodoviário | 62,1 | 61,9 | 63,7 | 62,9 | 62,6 |

Fonte: GEIPOT (2005)

3.1.2. Fatores determinantes nas decisões sobre transporte florestal rodoviário

3.1.2.1. Fatores técnicos

Existem diversos fatores que influenciam o desempenho dos veículos e seus custos. Os principais são aqueles inerentes ao tipo de veículo, à rede rodoviária florestal, às condições locais (topografia, clima e altitude), ao método de trabalho e aos fatores humanos. A distância é um dos fatores que mais afeta os custos de transporte, pois determina o volume de madeira a ser transportada por turno de trabalho, para cada tipo de veículo. O padrão das rodovias influencia nos custos do transporte florestal, uma vez que os veículos têm seus custos operacionais calculados numa base horária, de forma que, quanto melhor seu desempenho, menores serão os custos de transporte (MACHADO et al., 2000).

3.1.2.2. Fatores econômicos

Os fatores mais importantes que influenciam o custo do transporte são o peso e volume de madeira transportada, a distância de transporte e a qualidade das rodovias. Além desse fatores, deve-se destacar ainda, a facilidade de manuseio da madeira e sua acomodação no veículo. Outros fatores influentes no custo de transporte rodoviário têm significado no transporte de madeira, quais sejam, sazonalidade, trânsito, carga de retorno, especificidade do veículo de transporte, etc (MACHADO et al., 2000). O objetivo do transportador é tomar decisões de investimento e determinar políticas operacionais que maximizem o retorno sobre seus ativos. Grande parte do custo de transporte independe da quantidade que é transportada,

porém depende da utilização que é afetada pelas rotas e cronogramas dos veículos. Os fatores de custos que devem ser considerados, segundo Chopra e Meindl (2004), são:

- a) **Custo relacionado ao veículo** – é o custo contraído pelo transportador na compra ou aluguel do veículo usado para transportar as mercadorias. O custo relacionado ao veículo é considerado fixo para decisões operacionais de curto prazo. Ao se tomar decisões estratégicas de médio e longo prazos esses custos se tornam variáveis;
- b) **Custo operacional fixo** – inclui todo o custo associado a terminais e mão-de-obra, sejam os veículos utilizados ou não. Para decisões operacionais, esses custos são fixos, mas para decisões de planejamento e estratégia abrangendo localização e tamanho das instalações, esses custos são variáveis.
- c) **Custo relacionado a viagem** – é contraído toda vez que um veículo inicia uma viagem, inclui mão-de-obra, combustível, etc. Este custo depende da distância e duração, mas independe da quantidade transportada. Esse custo é considerado variável para as decisões estratégicas operacionais ou de planejamento que influenciam a distância e a duração da viagem;
- d) **Custo relacionado à quantidade** – inclui os custos de carregamento e descarregamento e são, geralmente, variáveis em todas as decisões de transporte, a menos que a mão-de-obra utilizada no carregamento e descarregamento seja fixa, e;
- e) **Custo indireto** – custo de planejamento e elaboração de cronograma de uma rede de transporte, bem como um eventual investimento em tecnologia da informação.

3.1.3. Transporte florestal terceirizado

O transporte de carga rodoviário no Brasil chama a atenção por faturar mais de R\$ 40 bilhões anualmente e movimentar 2/3 do total de carga do país. Por outro lado, destaca-se por ser palco de várias greves e impasses, quase sempre com um motivo comum: o valor do frete. Isso acontece em virtude do alto grau de pulverização desse setor, que opera com mais de 350

mil transportadores autônomos, 12 mil empresas transportadoras e 50 mil transportadores de carga própria. Entre as razões dessa pulverização destaca-se a relativa facilidade de entrada de competidores no setor, em virtude da baixa regulamentação. Isso acaba repercutindo no aumento da oferta de serviços de transporte rodoviário e assim a concorrência faz com que os preços sejam reduzidos ao máximo, chegando muitas vezes a valores inferiores ao seu preço de custo. O ponto focal para redução do custo de frete deve ser o nível de utilização da frota, ou seja, rodar o máximo possível com cada caminhão carregado para se ter um menor número de caminhões sem prejudicar o nível de serviço. Isso reduz de forma significativa os custos fixos, que usualmente correspondem à cerca de 50% dos custos totais de um veículo (LIMA, 2006).

A atividade de transporte representa o elemento mais visível e importante do custo logístico na maior parte das empresas transportadoras. O frete costuma absorver 60% do gasto logístico. Entretanto, no Brasil pouca importância é atribuída ao gerenciamento das atividades de transporte, contrariamente ao que acontece nos EUA, onde a perspectiva para contratação de serviços de transporte mudou de uma lógica baseada simplesmente em preços para outra que busca a eficiência e a qualidade com base num comprometimento de longo prazo, onde as transportadoras e as empresas contratantes tornam-se interdependentes em operações, rentabilidade e até mesmo com relação a sua sobrevivência (FLEURY et al., 2006).

3.2. Logística: Conceitos e Importância

A logística originou-se no século XVIII, no reinado de Luiz XIV, onde existia o posto de Marechal (General de Lógis) responsável pelo suprimento e transporte de material bélico nas batalhas. O sistema logístico foi desenvolvido com o intuito de abastecer, transportar e alojar tropas propiciando os recursos certos no local e hora certa, viabilizando as campanhas militares e contribuindo para a vitória das tropas (SOUZA, 2002). A partir daí, os militares perceberam o poder do sistema logístico e passaram a dar mais atenção ao serviço de apoio às equipes que realizavam o deslocamento de munição, víveres, socorro médico etc. Despertou-se o interesse em estudos nesta área que evoluindo muito após seus importantes resultados na Segunda Guerra Mundial (GALLO, 1998).

As primeiras atividades logísticas no Brasil remontam a época imperial. Em 1821, durante a regência de D. Pedro I, foram efetuadas as primeiras incumbências referentes ao

rancho da tropa, ao fardamento, ao equipamento, ao material de acampamento, ao arreamento e aos utensílios usados no Exército. Nas Forças Armadas do Brasil, a logística é parte integrante do Serviço de Intendência criado em 1920. As atividades logísticas desenvolvidas nestas organizações militares trabalham como nas empresas, no sentido de desenvolver um planejamento eficaz e o provimento adequado, nos locais especificados e nas devidas quantidades (CENTRO DE COMUNICAÇÃO SOCIAL DO EXÉRCITO BRASILEIRO, 2006).

No início dos anos 90, a logística e a estratégia competitiva, demonstraram sua importância quando da preparação para a Guerra do Golfo, os Estados Unidos e seus aliados, tiveram que deslocar grandes quantidades de materiais a grandes distâncias, em tempo curto, usando-se dos recursos da logística (SHARMAN, 1991).

Logística é o conjunto de todas as atividades de movimentação e armazenagem necessárias, de modo a facilitar o fluxo de produtos do ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, como também dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, obtendo níveis de serviço adequados aos clientes, a um custo razoável (COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT, 2005). Para Ballou (2001), a logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes. Ela diz respeito à criação de valor, valor para clientes e fornecedores de empresa e valor para os acionistas de empresa. O valor em logística é expresso em termos de tempo e lugar. Produtos e serviços não têm valor a menos que estejam sob a posse do cliente quando (tempo) e onde (lugar) eles desejam consumi-los. A boa gestão logística vê cada atividade na cadeia de suprimentos como contribuinte no processo de adição de valor.

A importância da logística, segundo KOBAYASCHI (2000), pode ser compreendida através dos "**8 Rs**": *Right Material* (materiais certos); *Right Quantity* (na quantidade certa); *Right Quality* (de boa qualidade); *Right Place* (no lugar certo); *Right Time* (no tempo certo); *Right Method* (com o método certo); *Right Cost* (com custo certo) e; *Right Impression* (com boa impressão).

No setor florestal, compete à logística suprir a unidade consumidora de madeira com qualidade em tempo e local corretos. A principal aplicação da logística neste setor é garantir

a redução de custos a partir do controle da remuneração do capital investido em estoque. Isto quer dizer que o sistema de transporte precisa ser eficiente para garantir o suprimento de uma indústria de base florestal com baixo nível de estoque de madeira no pátio (MACHADO et al., 2000).

3.2.1. Gestão estratégica

Um dos maiores desafios das empresas hoje é a logística. A explosão ao serviço ao cliente (produtos nas mãos dos clientes na hora e lugar exigidos), compressão do tempo (menor tempo para converter um pedido em caixa), globalização da indústria (materiais e componentes adquiridos no mundo inteiro) e integração organizacional (generalistas orientados para a obtenção de sucesso no mercado), constituem premissas para a vantagem competitiva (CHRISTOPHER, 1997).

Os ambientes de negócio estão em constantes mudanças, por isso é necessário estar modificando os sistemas logísticos sobre quatro fatores do ambiente de negócio, ou seja, o mercado, a concorrência, a evolução tecnológica e a regulamentação governamental, garantindo o ajustamento das estratégias de logística. O gerenciamento logístico é um conceito orientado para o fluxo, como objetivo de integrar recursos ao longo de todo o trajeto, que se estende desde os fornecedores até os clientes finais. É desejável, portanto que exista um meio de avaliar os custos e o desempenho deste fluxo. O aumento da demanda por melhores serviços, qualidade e variedade de produtos, associado ao crescimento da concorrência, tem forçado as organizações a repensar a maneira de administrar seus negócios (EAN BRASIL, 2005).

A gestão logística pode proporcionar uma fonte de vantagem competitiva, com uma posição de superioridade duradoura sobre os concorrentes, em termos de preferência do cliente, alcançada através da logística. A fonte da vantagem competitiva é encontrada primeiramente na capacidade de a organização diferenciar-se de seus concorrentes aos olhos do cliente e, em segundo lugar, pela sua capacidade de operar a baixo custo e, portanto, com lucro maior. O sucesso no mercado depende de um modelo simples baseado na trilogia: "companhia, clientes e concorrentes", conforme pode ser visto na Figura 1 (HO et al., 2002).

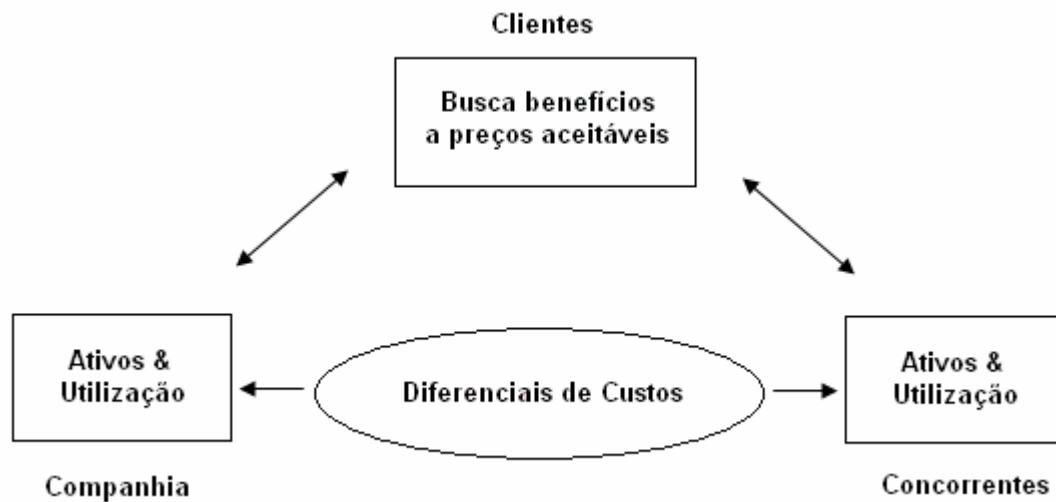


Figura 1 – Vantagem competitiva e os três "Cs"
 Fonte: Ohmae (1983)

A necessidade de adoção pelas companhias de uma abordagem integrada para o gerenciamento de informações dos custos, da produção até a distribuição, desencadeou mudanças nos sistemas convencionais da contabilidade de custos, deixando para trás sua metodologia tradicional, com o objetivo de identificação dos reais custos de produção até a sua distribuição final. A falta de informações sobre custos é uma das maiores causas para a dificuldade que muitas companhias têm no processo de adoção de uma abordagem integrada para a logística e para o gerenciamento de distribuição. Os sistemas convencionais agrupam os custos em categorias amplas agregadas, não permitindo a realização de uma análise mais detalhada, necessária para identificação dos custos verdadeiros da prestação de serviço ao cliente, numa variedade de produtos (Figura 2). Sem esta facilidade para analisar dados de custos agregados, fica impossível revelar o potencial de negociação que pode existir dentro do sistema logístico (PAGOTTO et al., 2001).

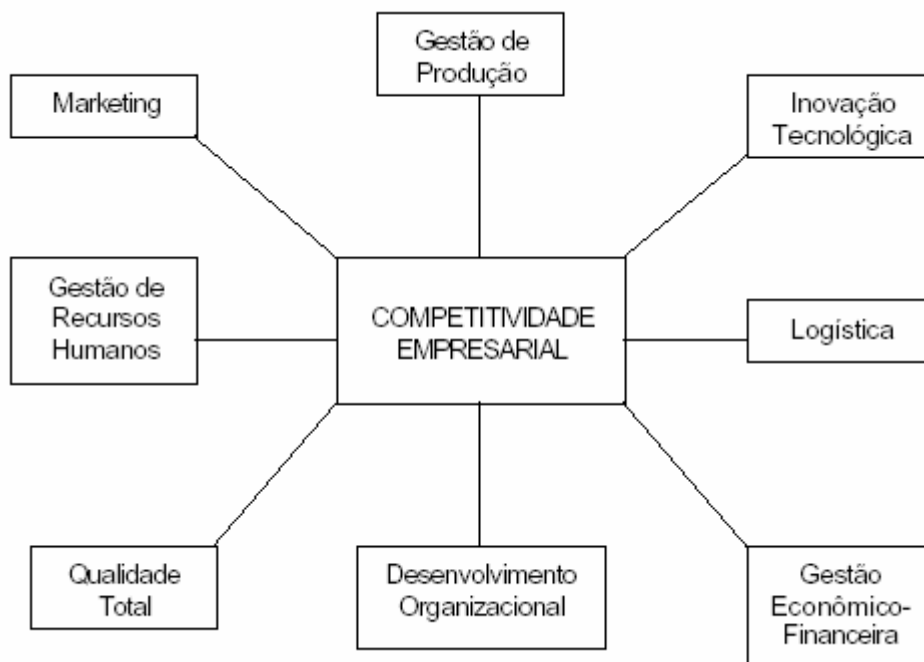


Figura 2 – Fatores influentes na competitividade empresarial
 Fonte: Porter (1990)

Estratégia é arte de aplicar os meios disponíveis com vista à consecução de objetivos específicos. Os termos, estratégia e logística, têm a mesma origem conceitual, ou seja, são termos de guerra adaptados para a guerra dos mercados. O processo de planejamento estratégico tem como premissa fundamental assegurar o cumprimento da missão da empresa, e tem como resultado um conjunto de diretrizes estratégicas de caráter qualitativo, que visa orientar a outra etapa do processo de planejamento, ou seja, o planejamento tático e o operacional (CATELLI, 1999).

A estratégia logística, segundo COPACINO (1997), envolve o sistema que a empresa deve manter para oferecer determinado nível de serviço e objetivo de custo que o sistema deve encontrar. Devido aos trade-offs¹ entre custo e nível de serviço, a empresa deve determinar o desempenho logístico desejado (o ponto C na Figura 3).

¹ *trade-off* significa o balanço entre duas situações ou qualidades que se opõem a fim de produzir um resultado aceitável ou desejável.

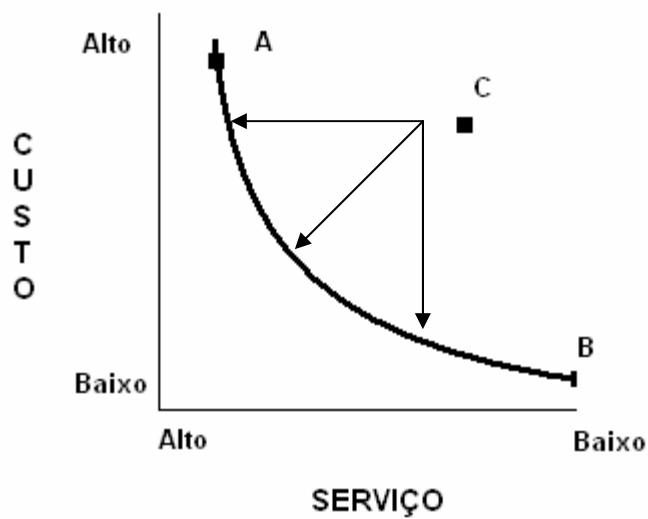


Figura 3 – Curva do custo-serviço logístico
 Fonte: Copacino (1997)

O planejamento logístico representa o sumário das estratégias (Figura 4), com os objetivos delineados, programas, indicadores e medidas-chave de desempenho. A visão do processo deve ser orientada para o cliente, dirigida pela estratégia, e baseada em resultados target. Alguns exemplos dos targets² incluem: corte de inventários pela metade, redução dos ciclos de tempo, eliminação completa de erros de pedido e faturas, e redução do custo total em porcentagem. As diferentes estratégias de negócios podem ter impactos profundamente diferentes na estratégia logística de uma companhia. KEEBLER et al. (1999) exemplificam uma estratégia de negócios, ser um provedor de baixo custo. Requer eficiência em uma organização - especialmente em processos logísticos, que podem ser responsáveis por uma parte significativa do custo total de um produto. Para distribuir produtos a custos mínimos, a gestão logística de uma companhia poderia ter que consolidar armazéns dispendiosos, desencorajar pedidos especiais e reduzir sua freqüência de entregas.

² *target* significa o alvo, objetivo pré-definido pela empresa.

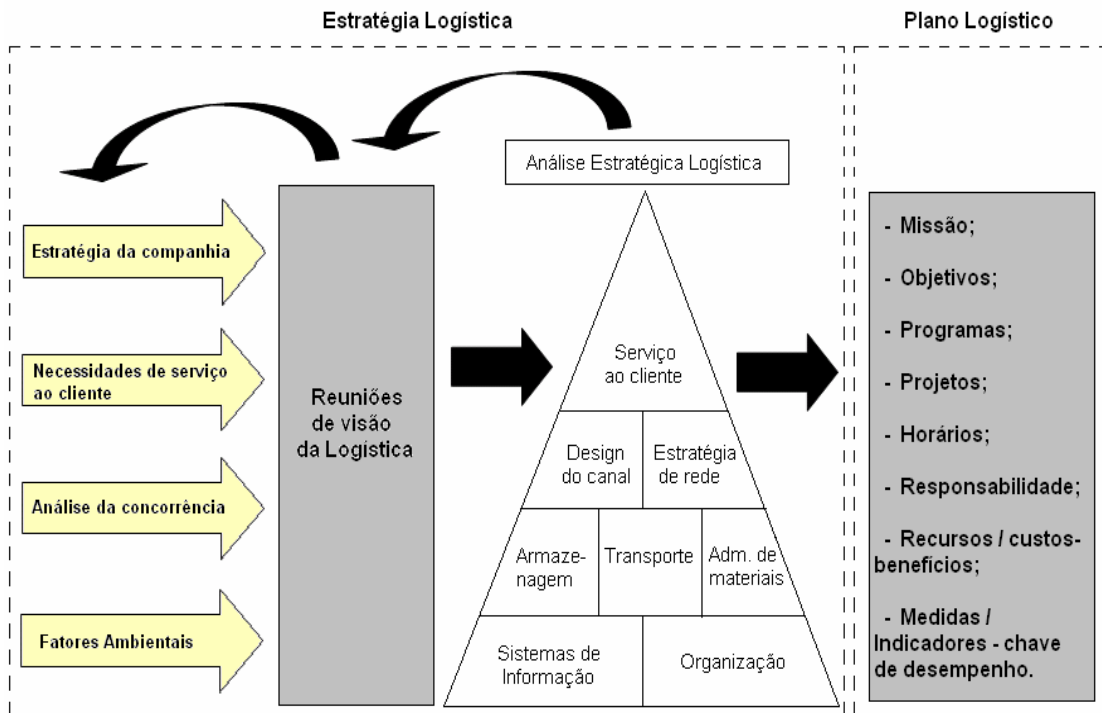


Figura 4 – Desenvolvimento de estratégias e o planejamento
 Fonte: Copacino (1997)

A estratégia corporativa deve estabelecer claramente os objetivos da empresa e então, buscar avaliar as necessidades, forças, fraquezas, orientações e perspectivas dos componentes da boa estratégia: clientes, fornecedores, concorrentes e a própria empresa. A estratégia logística deve buscar atingir três objetivos principais. Primeiro, a redução de custos, que deve ser dirigida para minimizar os custos variáveis associados à movimentação e à estocagem, podendo maximizar o lucro. Em segundo, a redução de capital, que busca minimizar o nível de investimento no sistema logístico podendo aumentar o retorno sobre investimentos. E, finalmente, melhorias no serviço, buscando um aumento das receitas em contraste com os serviços oferecidos pela concorrência (BALLOU, 2001).

3.2.2. Sistema logístico

No mercado globalizado, a logística tem exercido um papel preponderante no processo de expansão e transnacionalização das empresas. Seja nas atividades operacionais promovendo a expansão física e geográfica da empresa através do transporte e a localização da rede logística, ou, no processo integrador, melhorando as competências básicas das

organizações, na agilização da cadeia, oferecendo uma melhor visibilidade de coordenação gerada através de parcerias e relacionamento com os fornecedores e clientes, além de desenvolver estratégias de terceirizações (TABOADA et al., 2004).

As empresas, sem exceção, executam atividades logísticas, para atingir seus objetivos empresariais. A diferença se revela no nível de importância em que é tratada dentro da organização empresarial (BOWERSOX et al., 2001). Na realidade, a logística está em constante transformação, mesmo que esteja fragmentada em diferentes áreas. A tendência atual é que as empresas se reorganizem e se orientem à visão de cadeia ou rede logística, mudando o conceito tradicional “Produzir, estocar e vender” ou suas variantes e passar a prática de “definir mercados, planejar o apoio logístico, coordenando todos os processos de uma forma global”. Um sistema logístico qualquer deve estabelecer a integração dos fluxos físicos e de informações, responsáveis pela movimentação de materiais e produtos, desde a previsão das necessidades para suprimento de matérias-primas e componentes, passando pelo planejamento da produção e conseqüente programação de fornecimento aos canais de distribuição para o mercado consumidor (DIAS, 1993).

Conforme explicação de Alves (1997), os bens e serviços produzidos por uma empresa são obtidos a partir de bens e serviços provenientes de um mercado a montante e poderão sofrer processamentos a jusante ou apenas seguirem por um canal de distribuição simples até o consumidor final. A cada transformação que o produto passa, seja física, temporal e/ou espacial, lhe é agregado valor e incorporado a ele condições de melhor atendimento ao consumo. Este valor adicionado é adquirido a partir da transferência de propriedade entre agentes, os quais estabelecem entre si uma relação de troca destes bens e serviços. Assim, a gestão logística cuida da movimentação geral dos produtos, que se dá por três áreas principais: suprimento, apoio à produção e distribuição física. Para vencer a distância que separa os clientes dos fornecedores, a gestão logística deve enfrentar problemas referentes a tempo, espaço, custo, comunicação, movimentação e transporte de materiais e produtos. Em função dessas dificuldades, são criadas estratégias logísticas, as quais devem promover a integração das operações existentes dentro e entre as áreas de suprimento, apoio à produção e distribuição física. Esta integração deve se refletir em termos de custos totais e desempenho operacional do sistema logístico. Para reforçar isso, Bowersox *et al.* (2001) afirmam que uma estratégia logística deve definir um plano que detalhe o comprometimento de recursos financeiros e humanos nas operações de suprimento, apoio à produção e distribuição física,

tendo como objetivo a formulação de políticas para criação de instalações e sistemas de gestão, capazes de atingir a meta definida de desempenho ao menor custo total.

3.2.3. Nível de serviço

Um sistema logístico adota padrões de desempenho segundo os níveis de serviço estabelecidos para atendimento do mercado. Uma vez que a estratégia da empresa tenha posicionado o serviço ao cliente, são estabelecidos os canais de distribuição. Portanto, uma empresa pode apresentar diferentes níveis de serviço para canais de distribuição distintos. O serviço logístico pode estar associado a elementos de pré-transação, transação e pós-transação, relacionados à troca de produtos entre as partes envolvidas (fornecedor e cliente). Os fatores de pré-transação favorecem o ambiente para a troca, informando ao cliente o que deve esperar do produto. Os fatores de transação relacionam-se com a entrega do produto ao cliente, influenciando no tempo e condições de entrega. Os fatores de pós-transação, por sua vez, relacionam-se com o acompanhamento do produto depois de sua transferência ao cliente (BALLOU, 2001).

O nível de serviço pode ser visto de três formas:

- a) **Como uma atividade** – sugere um processo a ser administrado, cuja meta resulta em complementar as ações prescritas no contrato estabelecido para a troca do produto/serviço;
- b) **Em termos de níveis de desempenho** – um exemplo simples disso seria o caso em que se deve ter pelo menos 95% de disponibilidade de estoque. Sob esta forma, o serviço ao cliente é um fim e não um meio para alcançar as metas estabelecidas;
- c) **Como uma filosofia de gestão** – é a dimensão mais ligada ao conceito de mercado. Sugere a integração e o gerenciamento de todos os elementos de interface dentro de um *mix* de mercado predeterminado, tendo como objetivo principal a otimização da relação “Custo versus Serviço”.

O nível de serviço pode ser caracterizado através de três atributos (ALVES, 1997 e BALLOU, 2001):

- a) **Disponibilidade do produto** – permite que se avalie a habilidade da empresa em disponibilizar os produtos, segundo uma base previsível, frente aos pedidos realizados. Fundamenta as políticas de estoque. Trata-se de medidas de resposta ao atendimento de

mercado. O não atendimento é facilmente percebido pelo cliente/consumidor e esta é a razão de se ter medidas de disponibilidade refletindo este não atendimento;

b) **Competência** – permite que se avalie a habilidade da empresa em entregar o produto na velocidade e consistência prometidas. Refere-se principalmente a medidas de tempo de ciclo dos pedidos e à flexibilidade de respostas dos canais de distribuição. Tempo de ciclo de pedido (ou de serviço) pode ser entendido como o lapso de tempo entre o momento em que o pedido do cliente, o pedido de compra ou a requisição de um serviço é colocado e o momento em que o produto é recebido pelo cliente. Ele está sujeito a uma série de incertezas e depende do projeto do sistema logístico. Em função do nível tecnológico de comunicação e transporte, o tempo de ciclo pode variar entre algumas horas e várias semanas. Seu objetivo é o controle da eficiência operacional, buscando-se rastrear as causas dos desvios frente a padrões estabelecidos. Conhecidas as causas, faz-se então a análise do impacto dos eventos responsáveis por estes desvios, definindo procedimentos para diminuir a variabilidade nas ocorrências;

c) **Qualidade** – permite que se avalie a habilidade da empresa em fornecer informações consistentes sobre os pedidos e dar assistência ao cliente quando o produto já está em suas mãos. Assim, as medidas de qualidade tratam da efetividade com que as tarefas logísticas são cumpridas, avaliando o suporte pré e pós-transação. A medida de informação sobre os pedidos torna-se cada vez mais importante no relacionamento fornecedor/comprador. Os clientes querem informações corretas sobre disponibilidade e data de entrega. Os fornecedores, por sua vez, podem ajustar seus problemas causados por falta de estoque ou necessidade de substituição de produtos se forem comunicados a respeito desses problemas a tempo.

3.2.4. Custos

Tendo em vista que o transporte de madeira é uma das atividades que mais geram custos dentro de uma empresa de base florestal, e observando-se ainda a complexidade do mesmo devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo, tais como, fatores climáticos, distâncias entre a floresta e a unidade consumidora de madeira, custos de manutenção, combustível, lubrificantes, pneus, entre outros, torna-se necessária uma tomada de decisão visando minimizar os custos e as distâncias percorridas (BERGER et al., 2003).

Pesquisa realizada por Lacowicz et al. (2002) em uma empresa do sul do Brasil mostrou que dos 17 elementos do ciclo operacional do transporte rodoviário de madeira estudados, apenas seis são responsáveis por mais de 90% do tempo total do ciclo de transporte, ou sejam, tempo de viagem vazia, carregada, carga, descarga e espera para carga e descarga. O custo de combustível foi o mais oneroso dos custos variáveis e a depreciação a mais dentre os custos fixos, além disso, ficou evidente que uma frota dimensionada inadequadamente foi o fator que mais contribuiu para elevação dos custos de transporte.

Um dos principais desafios da logística moderna é conseguir gerenciar a relação entre custo e nível de serviço (*trade-off*). O preço está passando a ser um qualificador, e o nível de serviço um diferenciador perante o mercado. Assim, a logística ganha a responsabilidade de agregar valor ao produto através do serviço por ela oferecido. A má qualidade da informação de custos pode trazer uma série de distorções no processo de tomada de decisão, pois são utilizadas informações da contabilidade da empresa para fins gerenciais. No entanto, o fato destas estarem direcionadas a um objetivo, sobretudo fiscal e com foco na produção, pode prejudicar ou inviabilizar algumas análises gerenciais. O gerenciamento de custos logísticos deve ser focado a um objetivo desejado, possibilitando desenvolver um sistema para atender apenas uma atividade ou um conjunto delas. No entanto, é importante perceber que o aumento do escopo pode repercutir na falta de foco. Assim, o sistema de gerenciamento de custo pode extrapolar o limite da empresa, considerando outras atividades desenvolvidas por outros componentes da cadeia de suprimentos, sendo comum remunerar os transportadores em função dos custos de transportes, mas esses custos não são calculados adequadamente, pela falta de uma estrutura conceitual ou pela qualidade dos parâmetros utilizados. O sistema de custo pode ter a função de controle no caso do transporte de carga, quando o tempo de espera para carga e descarga comprometer o grau de utilização do veículo, afetando a rentabilidade. Na verdade ele por si só não irá reduzir custo, porém pode identificar oportunidades de redução (LIMA, 2006).

Para se tratar o custeio do transporte é importante formalizar os conceitos de custos fixos e variáveis, onde é tomada a distância percorrida como a unidade variável. Dessa forma, todos os custos que ocorrem de maneira independente ao deslocamento do caminhão são considerados fixos, e os custos que variam de acordo com a distância percorrida são considerados variáveis. Os principais itens dos custos do transporte rodoviário são a depreciação (capital que deve ser reservado para reposição do bem ao fim de sua vida útil);

remuneração do capital (custo de oportunidade do capital imobilizado na compra dos ativos); pessoal (salários, encargos e benefícios do motorista); seguro do veículo; Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA); custos administrativos; combustível; pneus; lubrificantes; manutenção; pedágio; etc (LIMA, 2006).

3.3. Avaliação de desempenho logístico

Conceitua-se desempenho como o resultado da combinação das categorias de dado sujeito ou sistema, relacionado com sua finalidade ou essência e representado principalmente por qualidades e quantidades. Para identificar as finalidades do serviço e seus atributos mais importantes é utilizado o enfoque sistêmico. Este método busca a identificação do sistema, sua interação com o ambiente, sua estrutura e objetivos, tornando mais simples a tarefa de reconhecimento e delimitação de variáveis endógenas e exógenas do problema e dos fatores que permitem saber se as metas do sistema foram atingidas ou não (LIMA JÚNIOR, 2001). Ainda o mesmo autor propõe uma extensão do modelo desenvolvido por Manheim (1979) que caracteriza o transporte como uma função de desempenho, incorporando a ele a dimensão qualidade. Com base nessa idéia e tentando ampliá-la para sistemas logísticos, pode-se dizer que no processo de avaliação de desempenho de um sistema logístico têm-se como principais entradas: o sistema de transporte (ST), o sistema de processamento de pedidos (SPP), o sistema de armazenagem (SA), o sistema de informação (SI), o volume de pedidos (V), os clientes (C) e o ambiente (A). Assim, o desempenho do sistema logístico seria dependente: do serviço (que é função de ST, SPP, SA, SI, V e A), da satisfação (que é função de ST, SPP, SA, SI, V, A e C) e dos recursos (que é função de ST, SPP, SA, SI, V e A). A Figura 5 ilustra o desempenho de sistemas logístico.

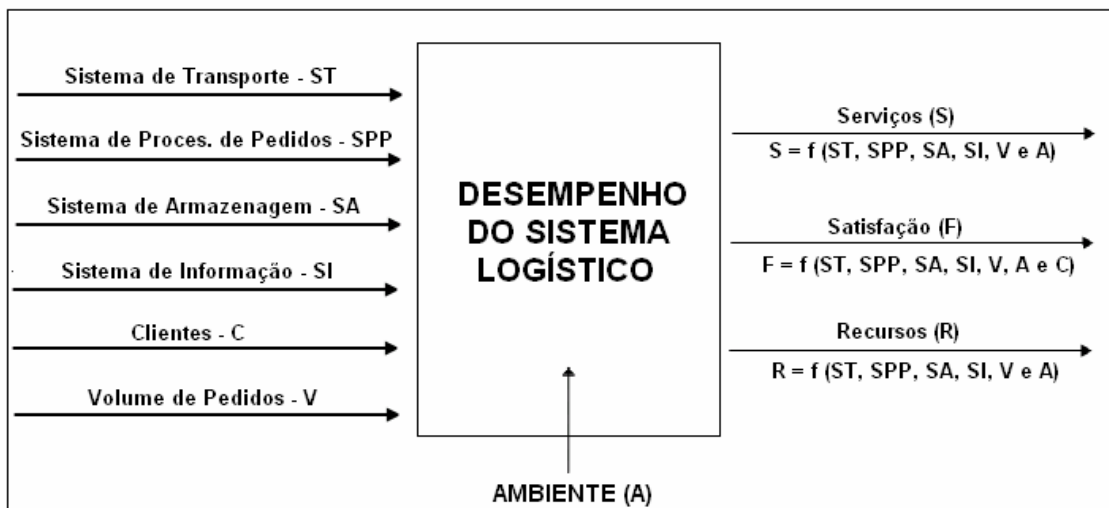


Figura 5 – Desempenho de sistemas logísticos
 Fonte: Adaptado de Lima Júnior (1995)

3.3.1. Fundamentos

Sugere-se que desempenho seja entendido como o resultado da combinação das categorias de um sistema, relacionado com sua finalidade e representado por quantidades e qualidades. Na verdade, é um modo de pensar que procura identificar o sistema em estudo, sua inserção no ambiente sua composição e suas finalidades, facilitando a delimitação das variáveis endógenas e exógenas do problema e as figuras de mérito que possibilitam a verificação do cumprimento dos objetivos globais do sistema e, conseqüentemente, seu desempenho (LIMA JÚNIOR, 2001).

3.3.2. Importância

A combinação de crescimento econômico mais lento e a concorrência mais acirrada forçaram empresas em todos os setores a se concentrarem na apropriação eficaz e eficiente de recursos logísticos. Um resultado desse esforço foi o surgimento de uma nova posição nas empresas dedicada ao controle logístico. O *controller* de logística está interessado na avaliação contínua do desempenho de sua empresa. Ao executar o processo de mensuração, o

controller concentra-se na avaliação da vinculação de recursos e no alcance de metas (COSTA, 2002).

Segundo Bowersox e Closs (2001) os objetivos principais do controle logístico são monitorar o desempenho em relação aos planos operacionais e identificar oportunidades para aumentar a eficiência e a eficácia. Segundo os mesmos autores, coexistem medidas de desempenho tanto de caráter funcional (atividades isoladas), como medidas de desempenho focadas em processos, sendo estas mais apropriadas ao ambiente competitivo atual. As medidas baseadas em atividades concentram-se em tarefas individuais necessárias para processar e expedir pedidos. As medidas de processo consideram a satisfação do cliente proporcionada em toda a cadeia de suprimentos. Essas medidas examinam o tempo total do ciclo de atividades ou a qualidade total do serviço, que por sua vez representam a eficácia coletiva de todas as atividades necessárias para satisfazer os clientes.

3.3.3. Controle

Deve existir um controle efetivo na administração de qualquer sistema logístico. Consumo de produtos e serviços, custos, requisitos de nível de serviço, restrições legais, tudo pode mudar com o passar do tempo. Se os objetivos logísticos de custo e serviço devem ser atingidos, então o desempenho do sistema deve ser mantido dentro do planejado. Esta é a responsabilidade do controle gerencial, segundo BALLOU (2001), sob alguns aspectos, o controle significa administrar por exceção. Isto é, enquanto o sistema logístico estiver funcionando com níveis de custo e serviço dentro do planejado não é necessário tomar qualquer ação para ajustar as atividades. O instante de agir é determinado pela comparação do desempenho medido com metas ou padrões preestabelecidos. Assim, este processo pode ser descrito por três itens: metas; medidas de desempenho e monitoramento.

O estabelecimento de padrões e metas para avaliar desempenho logístico pode ser feito de diversas formas. Expectativas de custo (orçamento) e de nível de serviço (objetivos) são determinadas a partir do planejamento dos meios e métodos para a movimentação e armazenagem de mercadorias. Essas expectativas podem ser usadas para guiar o desempenho, à medida que o sistema planejado é operado ao longo do tempo. Além disso, podem-se definir

padrões a partir das operações de empresas concorrentes. As metas também podem ser estabelecidas com base no desempenho obtido em algum período anterior (COSTA, 2002).

As atividades logísticas devem ser encaradas como processo contínuo, cujo desempenho deve ser monitorado. A tarefa da medida de desempenho é então prover informações sobre o desempenho das atividades logísticas, especialmente quando a variabilidade exceder uma amplitude aceitável. A administração, segundo BALLOU (2001) desenvolveu uma série de métodos para obter tais informações, quais sejam:

a) **Relatórios** – para finalidades logísticas, os relatórios mais comuns são os de posição de estoques, de utilização da frota, de custos de transporte, de classificação de fornecedores, de utilização de armazenagem e de atividades de processamento de pedidos. Eles oferecem informações detalhadas acerca de atividades específicas, sendo gerados periodicamente. Seu propósito é mostrar tendências no tempo;

b) **Auditorias** – a medição de desempenho em intervalos regulares nem sempre é acurada. Os relatórios podem indicar que os resultados estão dentro de limites aceitáveis quando na verdade não estão. Por isso, às vezes, é necessário revisar completamente a situação do sistema, o que geralmente é feito através de auditorias de controle logístico.

Para mediação efetiva avaliação de desempenho é necessário desenvolver o processo de mediação de desempenho. A base para a criação do processo de medição de desempenho é a definição de quais atributos, tais como, tempo de ciclo, custo, nível de serviço, e qualidade são críticos para que o sistema atinja suas finalidades e a concepção de medidas que monitorem esses atributos. Dentre esses atributos, o tempo do ciclo operacional é um dos mais importantes. A produção de transportes tem natureza cíclica, ocorrendo segundo processos que retornam a um estado inicial. O ritmo desses ciclos é determinado por sua frequência e, em última instância, pelo tempo de duração. Um ciclo operacional corresponde a um conjunto de processos inter-relacionados que forma uma atividade cíclica no tempo. Ele é fundamental para a definição da capacidade do processo, bem como de seu desempenho (LIMA JÚNIOR, 2001).

O monitoramento do desempenho logístico é fundamental para o gerenciamento. A mensuração do desempenho é uma das mais importantes ferramentas utilizadas para verificar se os objetivos estabelecidos estão sendo alcançados, auxiliando ainda na melhor aplicação dos recursos destinados a logística. A realização desse monitoramento é essencial no atual cenário onde as atividades relacionadas a logística vem sendo reconhecidas mundialmente

como de elevada importância para a geração de valor para o cliente. As medidas de desempenho logístico pertencem a quatro áreas básicas: qualidade, custos, produtividade e gerenciamento. A qualidade é o processo de comparar o nível praticado nos diversos indicadores com o nível considerado ótimo. Esta comparação deve ser feita com um padrão e metas pré-estabelecidos para cada um dos indicadores escolhidos. Análise de custo total requer que todos os custos relevantes para a operação sejam medidos e a gerência deve reconhecer a existência dos *trade-offs*, entendendo que é preciso manter uma posição abaixo do ótimo nas atividades logísticas para que o sistema possa operar com eficiência ótima. As medições de produtividade são tipicamente modeladas para monitorar sistemas que convertem *inputs* e *outputs* através da aplicação de trabalho. O gerenciamento de ativos e da infraestrutura logística não deve apenas identificar a forma mais barata em cada atividade, mas buscar um sistema que esteja orientado para performance total (HIJJAR et al., 2006).

3.4. Medição do desempenho logístico

Para se realizar uma avaliação de desempenho é necessário desenvolver o seu processo de medição. Devem-se definir quatro passos para a criação de um processo de medição de desempenho (LIMA JÚNIOR, 2001):

- a) Definir os atributos (tempo, custo, nível de serviço, qualidade, etc.) que são críticos para o alcance dos objetivos do sistema;
- b) Mapear os processos interfuncionais usados para obter resultados e identificar as relações de causa e efeito existentes;
- c) Identificar os elementos críticos e as capacidades necessárias para a execução satisfatória dos processos;
- d) Conceber medidas de monitoramento desses elementos e capacidades, bem como de seus respectivos padrões e metas.

O objetivo de tal processo de medição é o planejamento e o controle organizacional. Assim, deve-se conceber um sistema de indicadores, buscando-se a montagem da cadeia de causa e efeitos, e tentando relacionar as ações operacionais com os resultados obtidos e com metas e padrões a serem atingidos. Alguns atributos são muito importantes para a construção de sistemas de indicadores, tais como, custos, capacidade, tempo, qualidade e nível de serviço.

O custo logístico é o resultado da soma dos custos de transporte, mais o custo de armazenagem, mais o custo de manuseio, mais o custo de obsolescência durante o tempo em que o produto estiver sendo armazenado e/ou em trânsito, mais o custo monetário durante o tempo em que o produto estiver sendo armazenado e/ou em trânsito (COSTA, 2002).

A natureza sistêmica da logística é simples, porém bastante poderosa, já que apresenta o paradigma dos inter-relacionamentos. Devem-se entender como os elementos ou atividades afetam e/ou são afetados por outros elementos ou atividades com as quais interagem. Nesse sentido, componentes vinculados devem produzir resultados finais superiores aos alcançados pelo desempenho individual de cada um, o que nos leva a crer que a capacidade total de um sistema logístico pode ser ainda maior que a soma de todas as capacidades de seus elos e nós, de acordo com o grau de sinergia entre os mesmos (LAMBERT et al., 1998).

Um ciclo corresponde a um conjunto de processos inter-relacionados que forma uma atividade cíclica no tempo. O tempo desses ciclos é fundamental para a definição da capacidade do processo, bem como de seu desempenho. A redução do tempo de ciclo do pedido deve representar uma oportunidade para diferenciação no mercado. Esta redução do *lead time* (lapso de tempo que decorre entre a solicitação de um pedido e sua entrega) deve estar diretamente ligada às necessidades dos clientes e esforços de *marketing* da empresa, possibilitando, assim, impactos positivos em seu nível de competitividade (LAMBERT et al., 1998). Para se calcular o tempo de ciclo, segundo LIMA JÚNIOR (2001), deve-se elaborar um fluxograma com as principais operações envolvidas no processo e a quantificação dos tempos para sua realização. O tempo de ciclo será, portanto, a somatória desses tempos parciais.

Também é necessário enfatizar a avaliação da qualidade, na qual é importante considerar a percepção do cliente. Segundo LIMA JÚNIOR (2001), a qualidade pode ser definida como adequação ao uso, o que implica conformidade às especificações e satisfação do cliente. Por isso, em relação à percepção do cliente é importante considerar a visibilidade que ele tem do serviço e a prioridade que dá aos atributos, já que não adianta ter um excelente desempenho em um conjunto de atributos que o cliente não valoriza. A visibilidade pode ser entendida como a distância entre cliente e serviço, em função da quantidade de intermediários que os separa, em função da frequência de utilização do serviço por parte do cliente e, ainda, em função do número de produtos diferentes do serviço que o cliente utiliza. Sabe-se que é

uma tarefa complexa realizar a quantificação dos atributos da qualidade de serviços, sobretudo daqueles associados a aspectos intangíveis dos processos.

3.5. Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho possibilitam que as avaliações sejam feitas com base em fatos, dados e informações quantitativas, o que dá maior confiabilidade às conclusões. São relações matemáticas, medidas quantitativas de um processo ou de um resultado e estão, em geral, associados a uma meta qualquer. Para que os indicadores possam efetivamente ajudar na tomada de decisão é imperativo que sejam de fácil obtenção, compreensão e comparação, e não tenham ambigüidades. Também, é importante que os indicadores estejam inseridos em uma árvore de relações causais que permitam uma integração entre eles e um efetivo uso para explicar o desempenho. Essa árvore desdobra-se à medida que se descem os níveis gerenciais da empresa sendo que, para cada um dos níveis, deve haver metas ou mesmo padrões a serem atingidos, consistentes com os objetivos da empresa inteira. Quanto à forma de acompanhamento e análise de indicadores, deve haver, sempre que possível, um uso intenso de técnicas estatísticas buscando uma melhor confiabilidade nessas análises. Segundo ele, o uso de modelos gráficos, identificação de tendências, análises de séries e controle estatístico de processos são algumas das técnicas que devem ser consideradas (LIMA JÚNIOR, 2001).

3.6. Redes de Petri

Redes de Petri foram criadas por Carl Adam Petri, em 1962, objetivando a modelagem de sistemas com componentes concorrentes. Suas aplicações atingiram áreas como a modelagem de componentes de *hardware*, controle de processos, linguagem de programação, sistemas distribuídos, protocolos de comunicação, automação de escritórios e inteligência artificial. Na década de 70, surgiram os três tipos de Rede de Petri capazes de modelar características temporais determinísticas, quais sejam, as temporizadas de Ramchandani, de Merlin e de Sifakis, todos baseados nas redes lugar/transição, modelos mais utilizados em aplicações práticas. A Rede de Petri temporizada proposta por Merlin, em 1974, é dada pela

séptupla $TPN = (L, T, F, C, P, M_0, I_e)$, onde os primeiros seis termos correspondem a uma rede lugar/transição normal:

$R = (L, T, F) \rightarrow$ rede base

$C: L \rightarrow \aleph + U \{\infty\} \rightarrow$ função capacidade

$P: F \rightarrow \aleph + \rightarrow$ função peso

$M_0: L \rightarrow \aleph \rightarrow$ marcação inicial

E o sétimo termo é uma função $I_e: T \rightarrow \rho \times (\rho \cup \infty)$, que associa um intervalo fechado $[\alpha, \beta] \rightarrow 0 \leq \alpha \leq \beta$ a cada transição, chamado de intervalo de disparo médio. O limite inferior α , do intervalo é o tempo de disparo inicial (TDI) estático e o limite superior, β , do intervalo é o tempo de disparo final (TDF) estático. E ρ é o conjunto dos números racionais. O disparo de uma transição ocorre dentro do intervalo I_e , a menos que a transição seja desabilitada pelo disparo de outra transição. Após a habilitação de uma transição, o TDI associado indica o período de tempo mínimo que a transição deve esperar até que se possa executar a ação correspondente a ela e o TDF representa o período máximo admissível de espera para o disparo da transição. Segundo esta definição, uma rede lugar/transição é um caso particular da rede temporizada de Merlin, na qual cada transição estaria associada a um intervalo de disparo estático igual a $[0, \infty]$ (MARRANGHELLO, 2006).

As Redes de Petri constituem uma ferramenta de modelagem matemática e gráfica aplicável a vários tipos de sistemas. Desde o início de sua utilização para fins de modelagem, tem-se percebido facilidade de adaptação a um grande número de aplicações em que as noções de eventos e evoluções simultâneas são importantes (COSTA, 2002). Posteriormente, com a inclusão do tempo no modelo original, ampliou-se o campo de aplicações que, junto com sua capacidade de representar atividades concorrentes e assíncronas, permitem a modelagem e análise de sistemas complexos de produção, os quais resulta difícil modelagem por técnicas tradicionais, tais como, Teoria de Filas de Espera, Cadeias de Markov, Redes Pert, etc (PALOMINO, 1995).

A Rede de Petri é uma ferramenta muito promissora para modelar sistemas em tempo real, pois representam as relações de precedência e interações estruturais de eventos concorrentes e assíncronos; além do mais, a sua representação gráfica permite visualizar com muita clareza as diversas mudanças ocorridas nos sistemas complexos. As várias extensões de Redes de Petri, tais como, Redes de Petri Temporizadas, Estocásticas e Coloridas permitem a análise do sistema em forma qualitativa e quantitativa, que podem ser utilizadas para

implementar sistemas de controle em tempo real substituindo em muitos casos os chamados controladores lógicos programáveis (PALOMINO, 2001).

3.6.1. Elementos e Comportamento

Os três elementos básicos da Rede de Petri são **lugar**, **transição** e **ficha** e eles são polivalentes e interpretados livremente. CARDOSO e VALETTE (1997) definem estes elementos da seguinte forma:

a) **Lugar** é representado graficamente por um círculo e pode ser interpretado como uma condição, um estado parcial, uma espera, um procedimento, um recurso ou um conjunto de recursos, um estoque, uma posição geográfica dentro de um sistema de transporte etc. É bastante comum que os lugares tenham algum tipo de predicado a eles associado. (Exemplo: caminhão *carregado*, caminhão *vazio*, carregamento, descarregamento etc). Na Figura 6 é apresentada uma Rede de Petri com três lugares, a saber: máquina livre, peça em espera e máquina em operação.

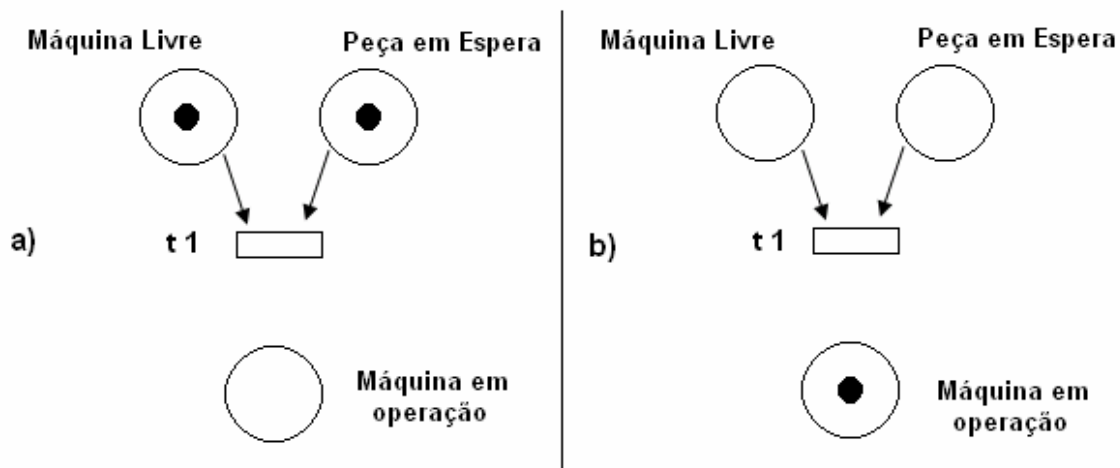


Figura 6 – Movimentação de ficha: Condição de disparo (a); Transição disparada (b)
Fonte: Cardoso e Valette (1997)

b) **Transição** que é representada graficamente por uma barra ou um retângulo. Está normalmente associada a um evento que ocorre dentro do sistema. (Exemplo: transportar a

carga, descarregar a carga etc.). A Rede de Petri apresentada na Figura 6 possui uma transição (t_1).

c) **Ficha** é representada graficamente por um ponto dentro de um lugar. A ficha indica que determinada condição associada ao lugar onde se encontra a ficha está verificada naquele momento. Através das fichas é possível representar um objeto (recurso ou peça) numa certa posição geográfica (em um estado qualquer) ou, ainda, uma estrutura de dados que se manipula (Exemplo: uma ficha no lugar máquina livre). Na Figura 6 indica que a máquina está livre (predicado verdadeiro), mas se não há fichas neste lugar, o predicado é falso e, portanto, a máquina não se encontra livre. Se no lugar “peças em espera” houvesse três fichas, indicaria que existiriam três peças em espera.

Vale salientar que nas Redes de Petri existem os arcos ligando os dois tipos de “nós”, ou seja, os lugares e as transições. Os arcos ligam os lugares às transições e as transições aos lugares, dependendo do sentido das setas que os representam (Figura 6). Não existem arcos ligando lugar a outro lugar ou transição a outra transição.

Segundo CARDOSO e VALETTE (1997), o estado do sistema é dado pela distribuição de fichas nos lugares da Rede de Petri, cada lugar representando um estado parcial do sistema. A cada evento que ocorre no sistema é associada uma transição no modelo de Rede de Petri. A ocorrência de um evento no sistema (que faz com que este passe do estado atual ao próximo estado) é representada no modelo pelo disparo da transição a qual o evento está associado. O disparo de uma transição consiste em dois passos:

a) retirar as fichas dos lugares de entrada, indicando que esta condição não é mais verdadeira após a ocorrência do evento; e

b) depositar fichas em cada lugar de saída, indicando que estas atividades estarão, após a ocorrência do evento, sendo executadas.

A ocorrência de o evento iniciar *a operação*, associado à transição t_1 (Figura 6-a) só pode acontecer após a habilitação desta transição. Assim, t_1 só dispara se houver pelo menos uma ficha no lugar *máquina livre* e pelo menos uma ficha no lugar *peça em espera*. O disparo da transição t_1 retira uma ficha do lugar *máquina livre* e uma ficha do lugar *peça em espera*, e coloca uma ficha no lugar *máquina em operação* (Figura 6-b).

3.6.2. Conceitos básicos

As Redes de Petri podem ser representadas de três formas:

- a) Um grafo com dois tipos de nós e comportamento dinâmico;
- b) um conjunto de matrizes de inteiros positivos ou nulos cujo comportamento dinâmico é descrito por um sistema linear;
- c) um sistema de regras baseado numa representação do conhecimento sob a forma *condição* → *ação*.

As visões gráfica e matricial diferenciam-se apenas pela forma de apresentação. O grafo é utilizado pelo projetista que, num relance, pode fazer várias observações e ter uma idéia global do sistema modelado. A apresentação matricial é mais natural, utilizada pelo computador na verificação automática. Já a representação sob um sistema de regras tem o objetivo de compatibilizar a representação das Redes de Petri com técnicas de Inteligência Artificial (CARDOSO e VALETTE, 1997).

3.6.2.1. Estrutura

A estrutura de uma Rede de Petri é uma quádrupla (MURATA, 1989).

$N = \langle P, T, Pre, Post \rangle$ em que:

P é um conjunto finito de lugares de dimensão n ;

T é um conjunto finito de transições de dimensão m ;

$Pre: P \times T \rightarrow IN$ é a aplicação de entrada (lugares precedentes ou incidência anterior), com IN sendo o conjunto dos números naturais;

$Post: P \times T \rightarrow IN$ é a aplicação de saída (lugares seguintes ou incidência posterior).

A quádrupla $N = \langle P, T, Pre, Post \rangle$ com $P = \{p_1, p_2, p_3\}$, $T = \{a, b, c, d\}$ e os valores das aplicações de entrada e saída dados por: $Pre(p_2, c) = 3$, $Pre(p_1, b) = Pré(p_2, a) = Pre(p_3, d) = 1$, $Post(p_2, d) = 3$ e $Post(p_1, a) = Post(p_2, b) = Post(p_3, c) = 1$, é uma estrutura de Rede de Petri.

3.6.2.2. Rede de Petri

A Rede de Petri é uma dupla (MURATA, 1989).

$RP = \langle N, M_o \rangle$ em que:

N é uma estrutura de Rede de Petri;

M_o é a marcação inicial dada pela aplicação $M : P \rightarrow IN$.

$M(p)$ é o número de marcas ou fichas contidas no lugar p . A marcação M é a distribuição das fichas nos lugares, sendo representada por um vetor coluna cuja dimensão é n (em que n é o número de lugares da Rede).

Um exemplo de Rede de Petri é a dupla $RP = \langle N, M_o \rangle$ com N sendo a estrutura da Rede de Petri exemplificada no último parágrafo da subseção 3.6.2.1 e $M_o = [0 \ 3 \ 0]^T$, a marcação inicial (T é o transposto do vetor). Esta RP é apresentada na Figura 7.

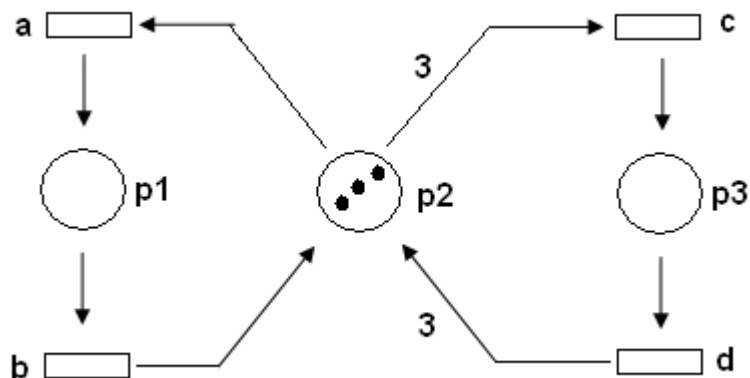


Figura 7 – Exemplo de uma Rede de Petri
Fonte: Cardoso e Valette (1997)

3.6.2.3. Grafo e notação matricial

Os grafos normalmente associados às Redes de Petri (Figura 7) possuem dois tipos de nós: os lugares e as transições. Um arco liga um lugar p a uma transição t se e somente se $Pre(p, t) \neq 0$. Um arco liga uma transição t a um lugar p se e somente se $Post(p, t) \neq 0$. A chamada *matriz de incidência anterior* Pre pode ser definida a partir dos elementos $a_{ij} = Pre(p_i, t_j)$ os quais indicam o peso do arco ligando o lugar de entrada p_i à transição t_j . A matriz

Pre tem dimensão $n \times m$: o número de linhas é igual ao número de lugares e o número de colunas é igual ao número de transições. Analogamente, a *matriz de incidência posterior* *Post*, também de dimensão $n \times m$, é definida a partir dos elementos $b_{ij} = \text{Post}(p_i, t_j)$ os quais indicam o peso do arco ligando o lugar de saída p_i à transição t_j (COSTA, 2002). Os valores não nulos das matrizes *Pre* e *Post* são associados aos arcos do grafo como etiquetas. Se o valor é unitário, não é necessário etiquetar o arco correspondente no grafo. Da mesma forma, se nada é indicado no grafo, o valor correspondente na matriz é unitário (CARDOSO e VALETTE, 1997). Esta Rede representa o partilhamento de um conjunto de recursos (três), representado pelo lugar p_2 , entre duas atividades, representadas pelos lugares p_1 e p_3 . A atividade correspondente a p_1 necessita de apenas um recurso de cada vez, já que o peso do arco (p_2, a) vale 1 ou $\text{Pre}(p_2, a) = 1$. A atividade correspondente a p_3 , por sua vez, necessita de todos os três recursos ao mesmo tempo. Há uma exclusão mútua entre p_1 e p_3 a partir do disparo de c , a transição a não pode mais disparar, e vice-versa. Porém, após o disparo de a , esta transição ainda pode disparar mais duas vezes. Assim, podem-se ter três atividades p_1 sendo executadas ao mesmo tempo.

3.6.2.4. Transição sensibilizada

Uma transição t está sensibilizada ou habilitada se o número de fichas em cada um dos lugares de entrada de t for maior ou igual ao peso do arco que liga este lugar à transição t .

3.6.2.5. Disparo de uma transição

O disparo de uma transição t é uma operação que consiste em retirar $\text{Pre}(p, t)$ fichas de cada lugar precedente p (peso do arco de entrada) e colocar $\text{Post}(p, t)$ fichas em cada lugar seguinte p . Modificando a marcação, o disparo de t representa, no modelo, a mudança de estado ocorrida no sistema devido à ocorrência do evento associado à transição t (CARDOSO e VALETTE, 1997).

3.6.3. Propriedades do modelo

As Redes de Petri apresentam dois tipos de propriedades, ou seja, aquelas que dependem da marcação inicial da Rede (propriedades comportamentais) e aquelas que são independentes da marcação inicial (propriedades estruturais). O conhecimento das propriedades de uma Rede de Petri reveste-se de grande importância na medida em que permite a análise de várias características e problemas associados ao sistema por ela modelado (COSTA, 2002).

3.6.3.1. Propriedades comportamentais

A alcançabilidade é testada através do disparo de uma transição habilitada qualquer muda a distribuição de fichas (marcação) da Rede. Uma seqüência de disparos resulta numa seqüência de marcações. Segundo Murata (1989), uma marcação M_n é dita alcançável a partir de uma marcação M_0 se existir uma seqüência de disparos que transforme M_0 em M_n .

Em relação a limitabilidade, uma Rede de Petri é dita *k-limitada* ou simplesmente *limitada* se o número de fichas em cada lugar não exceder um número finito k para qualquer marcação alcançável a partir de M_0 . Por exemplo, $M(p) \leq k$ para todo lugar p e toda marcação $M \in R(M_0)$. Uma Rede de Petri, por exemplo, é 3-limitada, ou seja, limitada com $k = 3$. Uma Rede de Petri é dita *segura* se ela é 1-limitada. No entanto na Rede apresentada na Figura 8, a cada vez que a seqüência $s = a b$ é disparada, uma ficha é colocada no lugar p_3 . Este lugar, portanto, é dito *não limitado* e a Rede, por sua vez, também é *não limitada*. Os lugares p_1 e p_2 são também *não limitados*. Uma Rede de Petri é dita *segura* se ela é 1-limitada (MURATA, 1989).

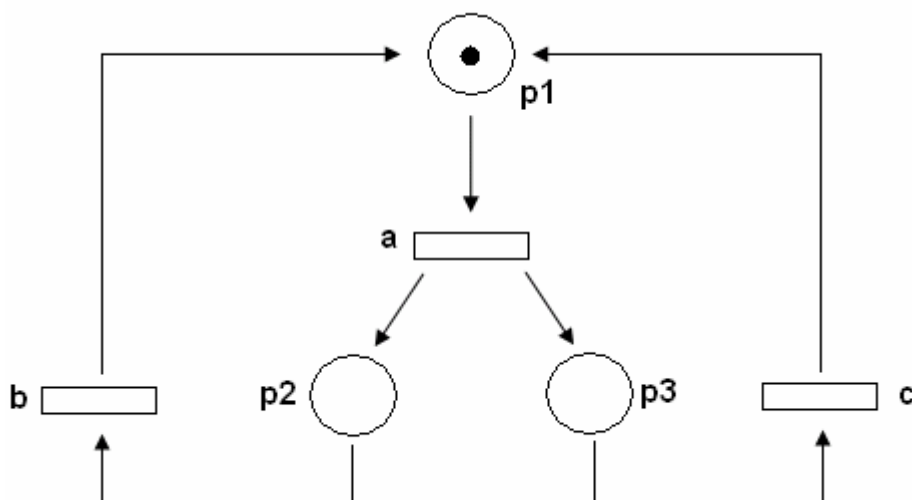


Figura 8 – Rede de Petri não limitada
 Fonte: Cardoso e Valette (1997)

O conceito de vivacidade está intimamente ligado à ausência total de *deadlocks* (bloqueios) na operação do sistema. Uma Rede de Petri (R, M_0) é dita *viva* (ou, de forma equivalente, M_0 é dita uma marcação viva para R) se, independente da marcação que for alcançada a partir de M_0 , for possível disparar qualquer transição da Rede através de alguma seqüência de disparo. Isto significa que uma Rede de Petri viva garante que nenhum bloqueio pode ser provocado pela estrutura da Rede, não importando qual seqüência de disparo for escolhida e garante, também, a ausência de bloqueios. Dentro de uma Rede de Petri podem-se ter, ainda, casos em que existe uma transição ou várias transições da Rede que só disparam uma vez. Essas transições são ditas *quase vivas*. As transições quase vivas, após dispararem a primeira vez, são bloqueadas, não sendo mais sensibilizadas por marcação alguma. As Redes de Petri vivas não possuem transições quase vivas (MURATA, 1989).

Quando é possível, a partir de qualquer marcação acessível M em R (M_0), encontrar uma seqüência de disparo s que leve a Rede de volta à marcação inicial M_0 , diz-se que esta Rede é *reversível ou própria* (MURATA, 1989; CARDOSO e VALETTE, 1997). Considerando a Rede de Petri apresentada na Figura 9-a, cujo grafo de marcações alcançáveis é apresentado na Figura 9-b, percebe-se que a Rede é *não reiniciável*, já que não existe qualquer seqüência de disparo que permita voltar à marcação inicial $M_0 = [1\ 0\ 0\ 1]^T$ após o disparo da transição t_1 ¹¹. Por outro lado, a Rede é viva, pois a partir de qualquer marcação acessível existe uma seqüência de disparo levando a uma marcação que sensibiliza cada uma das transições da Rede.

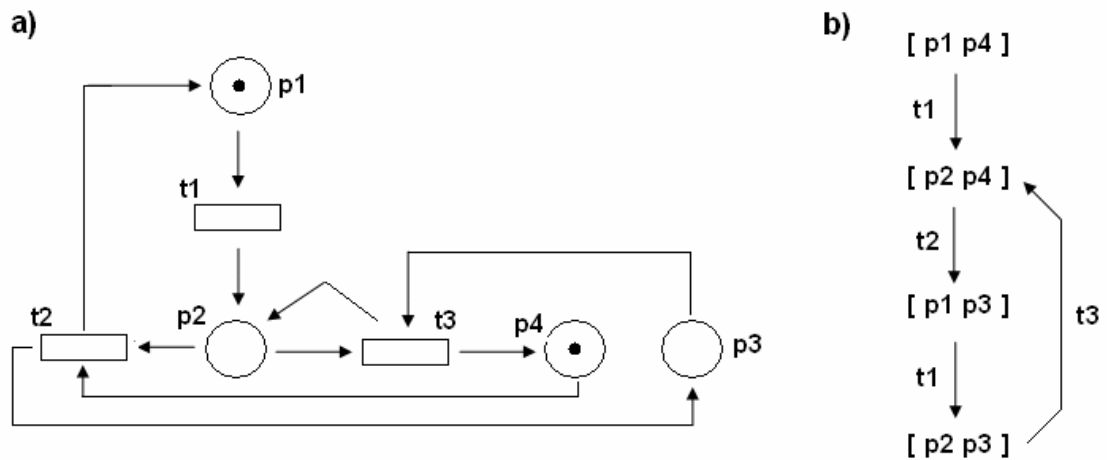


Figura 9 – Rede não reiniciável (a); Grafo associado (b)
 Fonte: Cardoso e Valette (1997)

3.6.3.2. Propriedades estruturais

3.6.3.2.1. Componentes conservativos, invariantes de lugar

Um invariante linear de lugar é uma função linear da marcação dos lugares cujo valor é a constante que depende apenas da marcação inicial da Rede. Ele corresponde a uma restrição sobre os estados e as atividades do sistema que será sempre verificada, qualquer que sejam as suas evoluções (COSTA, 2002).

3.6.3.2.2. Componentes repetitivos, invariantes de transição

O invariante de transição corresponde a uma seqüência cíclica de eventos que pode ser repetida indefinidamente. O conjunto das transições do invariante forma, por sua vez, um *componente repetitivo estacionário* da Rede.

3.6.4. Métodos de análise

MURATA (1989) classifica os métodos de análise de Redes de Petri em três grupos: árvore de cobertura; matriz de incidência e equações de estado; e técnicas de redução ou

decomposição. O primeiro método envolve essencialmente a enumeração de todas as marcações alcançáveis. Sabe-se que este método poderia ser utilizado por todas as classes de Redes se não fosse pela complexidade de sua aplicação às grandes redes, fator que o torna indicado somente para aquelas de pequeno porte. Os demais métodos, em contrapartida, são mais poderosos; porém, em muitos casos, só se aplicam a classes especiais de Redes de Petri ou em situações bastante específicas.

3.6.4.1. Árvores de cobertura

Dada uma Rede de Petri, a partir da marcação inicial é possível obter marcações novas de acordo com o número de transições habilitadas. A partir de cada marcação nova, podem-se alcançar novamente mais marcações. Este processo resulta numa representação das marcações em forma de árvore, onde os nós são as marcações geradas a partir de M_0 (a raiz) e suas sucessoras. Nesta árvore cada arco simboliza o disparo de uma transição, o qual promove a mudança de uma marcação para outra. A construção de um ramo é interrompida desde que seja encontrada uma marcação.

3.6.4.2. Matriz de incidência e equações de estado

O comportamento dinâmico de muitos sistemas pode ser descrito através de equações diferenciais ou equações algébricas. As matrizes de incidência que governam o comportamento dinâmico dos sistemas modelados por Redes de Petri, no entanto, pode ter uma solução limitada.

3.6.4.3. Técnicas de redução ou decomposição

A análise de sistemas maiores é comum reduzir o modelo do sistema para um mais simples, preservando, no entanto, as propriedades a serem analisadas. De forma inversa, técnicas para transformar modelos abstratos em modelos mais refinados de uma forma hierárquica podem ser utilizadas para síntese.

3.6.5. Rede de Petri Temporal (RPT)

Uma Rede de Petri Temporal (RPT) é obtida associando-se a cada transição dois valores de tempo (dois números reais), a e b (com $a \leq b$), que correspondem a uma duração de sensibilização (COSTA, 2002). O disparo é instantâneo, mas a transição deve estar sensibilizada durante o intervalo de tempo dado. Certos mecanismos implicam que uma ficha esteja visível somente para certas transições a um dado instante. Considerando-se a Figura 10, nota-se que o lugar *espera* permite que o sistema esteja receptivo à chegada de um evento sob a forma de uma ficha no lugar *condição* (neste caso, a transição f_{im1} dispara, colocando uma ficha no lugar *seqüência normal*). Mas se o lugar *condição* não estiver marcado ao fim do tempo u , é acionado um *alarme* (disparo da transição f_{im2}).

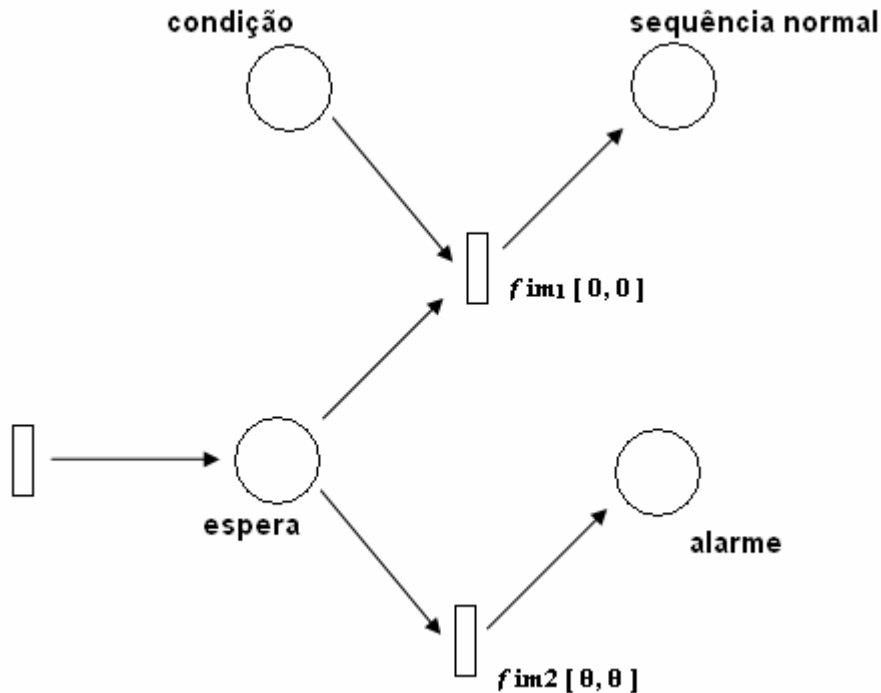


Figura 10 – Rede de Petri Temporal (RPT)
Fonte: Cardoso e Valette (1997)

A situação apresentada na Figura 10 pode ser aplicada de forma análoga ao caso do transporte de madeira, num exemplo simplificado. Partindo do pressuposto de que a madeira leva uma quantidade de horas para chegar até uma fábrica de celulose, se ocorrer algum tipo

de atraso, isso pode vir a comprometer o estoque de madeira no pátio da indústria, fazendo com que seja utilizada madeira do estoque regulador. Neste exemplo, o lugar *condição* representando o caminhão pronto para ser carregado com madeira e o lugar *espera* representando a madeira colhida e processada pronta, esperando para serem colocadas dentro dos caminhões. Com a ocorrência ou não das condições acima detalhadas (representadas na Rede pela presença ou não de fichas nos lugares *condição* e *espera*) a Rede tomaria sua *seqüência normal* ou a gerência logística seria informada (*alarme*) de que o atraso exigirá que se utilize madeira do estoque de fábrica. A Rede de Petri permite boa visualização e acompanhamento da dinâmica e dos inter-relacionamentos das atividades produtivas nas áreas de plantio, corte e carregamento, transporte, pesagem e amostragem, e recepção de cana-de-açúcar no Brasil, que possuem características predominantemente discretas (YAMADA et al., 2002). Para objetos de natureza híbrida, com forte influência humana, como as áreas de colheita e transporte florestal, a Rede de Petri pode representá-los de forma global, inserida no contexto de sistemas discretos.

3.7. O modelo ADELCAP

O modelo para (A)valiação do (DE)sempenho (L)ogístico de (CA)deias (P)rodutivas – **ADELCAP** foi desenvolvido por COSTA (2002) para auxiliar na avaliação de desempenho logístico de cadeias produtivas agroindustriais (de forma genérica). A aplicação deste modelo foi feita ao caso de melão produzido no Baixo Jaguaribe (Ceará). Ressalte-se que poderia ter sido feita uma aplicação semelhante para qualquer outro tipo de fruta, dado o caráter genérico da ferramenta (Rede de Petri), da metodologia utilizada e do modelo de aplicação em si.

3.7.1. Objetivo do modelo

Todo sistema logístico deve ter padrão de desempenho que obedeçam aos níveis de serviços mínimos aceitos pelo mercado. Uma das formas de se avaliar este desempenho quanto ao seu nível de serviço é medir a habilidade da empresa em entregar a mercadoria solicitada no tempo prometido. Esta habilidade diz respeito a medidas de tempo de ciclo, à flexibilidade de respostas da distribuição e às formas de tratar as ocorrências não esperadas.

Neste modelo, procura-se avaliar o *lead time* e a frota utilizada nas fases de produção e entrega intermediária caracterizando, desta forma, uma mensuração da eficiência externa e interna do sistema analisado. Assim, o modelo ADELAP, enquanto instrumento de modelagem, tem como objetivo medir o tempo que o produto leva para se deslocar desde o início do seu processo de produção até o momento em que é entregue ao consumidor permitindo, inclusive, que se avalie o comportamento do sistema no que diz respeito às interações entre atividades, atores do processo, tempos e recursos.

3.7.2. Sistemas

Sistema é um conjunto de partes que interagem de modo a atingir um determinado fim, seguindo um plano ou conjunto de princípios. Os conceitos de sistema e sua estrutura levam em conta o sistema de forma estática, sem se tratar da questão quanto ao seu funcionamento. Do ponto de vista dinâmico, um sistema estará em pleno funcionamento somente quando suas funções forem ativadas. A dinâmica do sistema ocorre durante o acionamento dos recursos físicos, sob orientação dos recursos lógicos, desde que existam os necessários elementos de entradas, que são processados, transformando-se em saídas ou produtos do sistema (MELO, 1999).

3.7.3. Modelagem

Um modelo constitui uma abstração ou uma representação simplificada de um sistema para facilitar sua análise e seu projeto. Quando se constrói um modelo a partir de um modelo real ou em fase de concepção, pode-se analisar o desempenho do sistema para então selecionar uma ação no sentido de aprimorá-la ou identificar a melhor estrutura do sistema futuro. Mesmo uma situação real que envolva um grande número de variáveis, o seu comportamento é influenciado por uma quantidade reduzida de variáveis principais. Por isso, a simplificação do sistema real em forma de modelo passa primeiramente pela identificação dessas variáveis principais (ANDRADE, 1989).

O relacionamento entre variáveis em um modelo pode ser representado na forma matemática podendo ser de dois tipos:

- a) **Modelos de simulação** que permitem a geração e a análise de alternativas;

b) **Modelos de otimização** que não permitem a flexibilidade na escolha da alternativa, pois são estruturados para selecionar, segundo um dado critério, a alternativa ótima.

A ferramenta de modelagem utilizada no modelo ADELAP (COSTA, 2002) serve para que sejam feitas análises sobre o sistema modelado baseadas nas propriedades das Redes de Petri, bem como simulações do sistema real. O modelo é, portanto: de **simulação**; **dinâmico** (já que os valores de saída dependem dos valores de entrada); **determinístico** (já que as variáveis de saída não são aleatórias); **contínuo** (já que o tempo, principal variável de saída, é medido por números reais) e; **temporizados nas transições**.

3.8. Aplicativos utilizados em análise e simulação de Redes de Petri

ARP – Analisador/ Simulador de Redes de Petri, esse software foi desenvolvido no Laboratório de Controle e Microinformática (LCMI) no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, entre 1985 e 1990. O ARP é um programa de auxílio ao projeto com Redes de Petri contando com várias ferramentas para Redes de Petri ordinárias com temporização e com temporização estendida. O ARP foi construído em Pascal, de forma modular permitindo uma interface com o usuário, utilizando textos e janelas. A modularidade do programa permite projetar e conectar novas ferramentas de análise de Redes de Petri. O programa roda sob o sistema operacional DOS, na versão 3.00 ou superior em computadores compatíveis com IBM-PC, com mínimo 256 Kb de memória disponível, composto de dois arquivos básicos: ARP.exe (programa executável) e o ARP.ovr (*overlay* com rotinas diversas). A linguagem de descrição de Redes de Petri usada no ARP possui uma sintaxe semelhante à de Pascal, permitindo a identificação de lugares e transições por nomes quaisquer com até 20 caracteres. No caso de redes com temporização, segundo o modelo de Merlin, podem ser definidos o *Static Earliest Firing Time* (SEFT) e o *Static Latest Firing Time* (SLFT), com default [0, 0]. Também pode ser definida a curva de densidade de probabilidade associada a esse intervalo. Nos intervalos são aceitos inteiros entre 0 e 32.000, podendo ser constantes pré-definidas. As curvas de densidade de probabilidade usadas pelo módulo de avaliação de desempenho são: Uniforme (default); Normal (com média no centro do intervalo e forma definida pela razão k entre o valor da curva no centro e nos extremos do intervalo $0 < k < 10.000$ e; Exponencial (com forma definida pela razão k entre o valor da

curva no início e no final do intervalo $0,0001 < k < 10.000$). A definição das curvas não depende de valores absolutos, mas apenas da razão entre os valores máximo e mínimo. A enumeração de estados é uma análise baseada na procura de todos os estados alcançáveis pela rede, disparando suas transições e o algoritmo usado é o de Karp-Miller.

A aplicação do modelo ADELCPAP pode ser realizada através do programa JARP, *release* 1.1.15 (2005), desenvolvido como uma ferramenta auxiliar de análise de Redes de Petri desenvolvida no Laboratório de Controle e Microinformática (LCMI) da Universidade Federal de Santa Catarina, de domínio público. As suas principais características são a composição visual de Redes de Petri, simulação interativa de Redes, exportação de Redes para o formato de arquivo do ARP, exportação para o formato padronizado *Petri Net Markup Language* (PNML) baseada em XML, exportação para os formatos gráficos GIF, JPEG, PNG and PPM. As expansões previstas são a implementação dos algoritmos básicos de análise de Redes de Petri (componentes conservativos e repetitivos, marcações acessíveis, árvore de cobertura, propriedades da Rede...) e a possibilidade de importar Redes a partir de arquivos no formato ARP (o formato ARP não define informações de posição dos lugares e transições). Segundo BILLINGTON (2006), as vantagens do XML são a sua popularidade, ser uma plataforma independente e possuir muitas ferramentas disponível para ler e escrever.

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização das regionais produtoras de madeira estudadas

Os trabalhos foram desenvolvidos em áreas pertencentes à CENIBRA onde se utilizam veículos de transporte rodoviário de madeira até a unidade consumidora (fábrica). As regiões estudadas foram Cocais das Estrelas (CE) e Rio Doce (RD), que pertencem a regional produtora de Belo Oriente (Figura 11). As regionais dispõem de 4 e 30 composições veiculares de carga (CVC) para o transporte de madeira além de 1 e 3 carregadores florestais no carregamento, respectivamente em Rio Doce e Cocais das Estrelas.



Figura 11 – Localização geográfica da fábrica da CENIBRA
Fonte: Google Earth, 2005

O Quadro 4 ilustra o total de área plantada com eucalipto, a produção anual média por regional e as distâncias médias de transporte rodoviário das regionais estudadas até a indústria.

Quadro 4 – Distribuição da produção de madeira, área plantada e distância da indústria

| REGIONAL | PRODUÇÃO MÉDIA DE MADEIRA - 2005 (ton.) | ÁREA PLANTADA (ha) | DISTÂNCIA MÉDIA TOTAL (Km) | DISTÂNCIA MÉDIA ESTRADAS FLORESTAIS (KM) |
|---------------------|---|--------------------|----------------------------|--|
| Rio Doce | 300.000 | 18.756 | 20 | 6,2 |
| Cocais das Estrelas | 210.000 | 11.092 | 83 | 46,4 |

Fonte: CENIBRA

O tempo do ciclo operacional de transporte rodoviário de madeira depende da quantidade de carregadores florestais no campo, do número de veículos de transporte rodoviário, das condições das estradas, da distância de transporte, etc. (Figura 12 e 13). Vale salientar que, no pátio da fábrica são utilizados dois carregadores frontais, para o descarregamento nas esteiras dos picadores 3 e 4 e; três guias para movimentação de madeira no pátio.

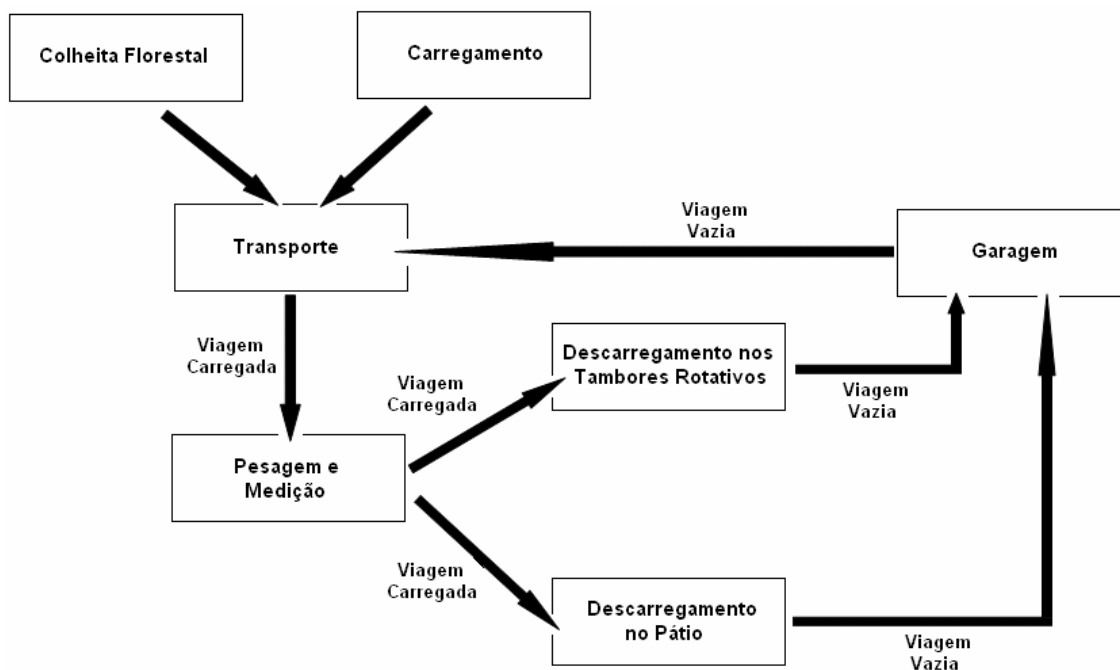


Figura 12 – Descrição da cadeia logística do transporte de madeira rodoviário



Figura 13 – Detalhe de parte da cadeia logística do transporte de madeira rodoviário a ser efetivamente modelada

4.2. Composições Veiculares de Carga

O sistema de transporte rodoviário florestal utilizado é terceirizado. A CVC utilizada é o Rodotrem (Figura 14) destinado ao transporte de toras longitudinais, em quatro feixes de 4,40 m de comprimento, totalizando uma carga útil média de 45 toneladas e um peso bruto total combinado (PBTC) médio de 74 toneladas. Na pesquisa foram utilizados Rodotrens pertencentes à transportadora Rodo Mar, composta por um cavalo-mecânico, de tração 6x4, motor de 380 cv (279 kW), relação de diferencial 4,55:1, pneus 295R22,5 sem câmara. Possui um semi-reboque de dois eixos conjugados e um reboque de quatro eixos conjugados, com 9,40 metros de comprimento, rodagem raiada 8:00 x 22', pino rei 3.1/2 e Dolly com dois eixos.

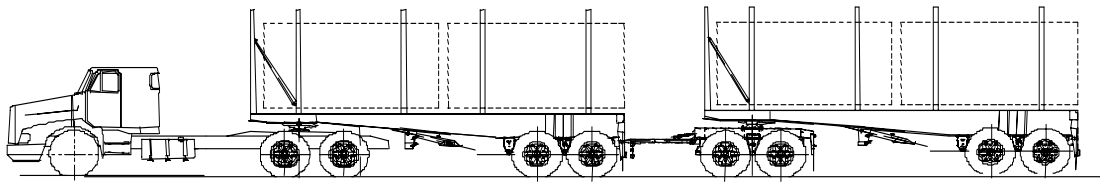


FIGURA 14 – Rodotrem para o transporte de quatro feixes de toras de 4,40m.
Fonte: Stein et al. (2001)

4.3. Coleta de dados e Amostragem

Os dados de tempo dos elementos do ciclo operacional, custos e movimentação de madeira no pátio foram coletados da Central de Logística da empresa em duas etapas. Trabalhou-se com dados dos ciclos coletados no período de julho a novembro de 2005. Foi utilizada a amostragem casual simples, sendo o número de ciclos operacionais estimado através da metodologia utilizada por BARNES (1968). O número de ciclos utilizados foram de 67 e 38, respectivamente para Rio Doce e Cocais das Estrelas. Inicialmente realizou-se um estudo piloto do ciclo operacional, buscando estabelecer o número mínimo de ciclos para cada uma das regionais estudadas, para um erro de amostragem admissível fixado em 5%, a 95% de probabilidade, o estimador utilizado foi:

$$n \geq \frac{t^2 + CV^2}{E^2}$$

Em que:

n = número mínimo necessário de ciclos de transporte dos caminhões a serem amostrados;

t^2 = valor de t, para o nível de probabilidade desejado e (n – 1) graus de liberdade;

CV = coeficiente de variação; e

E = erro admissível, em percentagem.

Os tempos de viagem carregada e descarregada foram ponderados em relação à distância média percorrida e os tempos de carregamento, descarregamento e garagem, em relação ao tempo total do ciclo.

O desvio padrão (sigmas) são faixas normalmente adotadas para a definição da variabilidade dos processos nas empresas. A fim de reduzir a margem de erro nos cenários atual e hipotéticos trabalhou-se com 3 sigmas, isto significa que pelo menos 99,73% dos dados coletados estão dentro do padrão de qualidade.

4.4. Aplicação do modelo ADELCAP e os programas ARP e JARP

O modelo **ADELCAP** de avaliação do desempenho logístico de cadeias produtivas e os programas **ARP** e **JARP** foram utilizados como ferramentas de simulação, análise e avaliação de desempenho da cadeia de suprimento rodoviário de madeira.

A modelagem foi idealizada de forma que a dinâmica do modelo se tornasse análoga à de um processo qualquer de manufatura. Para avaliar seu desempenho, foram utilizados os tempos dos elementos do ciclo operacional do transporte de madeira. Na avaliação de desempenho, com o ARP, utilizou-se à abordagem orientada a eventos. Neste modo foram definidos um evento (transição) inicial e até 10 eventos destino. As transições foram disparadas sendo as medidas estatísticas efetuadas entre o disparo do evento inicial e o disparo de algum evento destino, medindo-se o tempo médio entre eventos e a probabilidade de sua ocorrência. Após esta etapa procedeu-se a simulação computacional, utilizando-se a Rede de Petri como ferramenta de apoio à decisão em nível operacional.

Para subsidiar a análise da estrutura e dos componentes da cadeia logística foram obtidas informações junto à empresa e visitas a campo e pátio da indústria. A estrutura da cadeia logística foi modelada no programa JARP, porém a análise estrutural não foi realizada devido às limitações do programa ARP.

Foi realizado um diagnóstico da cadeia de suprimento rodoviário de madeira, com ênfase no seu desempenho, quanto aos tempos de ciclo operacional. O estágio atual (características, procedimentos e tecnologia empregados) de desenvolvimento da referida cadeia, bem como outros recursos de natureza logística, foram conhecidos e avaliados em relação ao desempenho em termos de tempo de ciclo operacional. Sendo assim, tratou-se de estruturá-la graficamente conforme a Figuras 15, a legenda para compreensão está descrita no Quadro 5.

Quadro 5 – Legenda da estrutura de Rede de Petri (RPT) representando o transporte rodoviário de madeira das regionais do Rio Doce e Cocais das Estrelas

Legenda

Lugares:

RD₁ = Madeira cortada, processada e empilhada na estrada
RD₂ = Veículo vazio na estrada pronto para ser carregado
RD₃ = Madeira sendo carregada no veículo
RD₄ = Veículo carregado
RD₅ = Veículo carregado a caminho da fábrica
RD₆ = Veículo na fábrica pronto para ser descarregado
RD₇ = Madeira sendo descarregada do veículo
RD₈ = Veículos prontos para se deslocarem para garagem
RD₉ = Veículo vazio a caminho da garagem
RD₁₀ = Veículo vazio pronto para se deslocar até madeira pronta na estrada
RD₁₁ = Veículo vazio a caminho da madeira pronta
RD₁₂ = Carregador livre para iniciar carregamento
CE₁ = Madeira cortada, processada e empilhada na estrada
CE₂ = Veículo vazio na estrada pronto para ser carregado
CE₃ = Madeira sendo carregada no veículo
CE₄ = Veículo carregado
CE₅ = Veículo carregado a caminho da fábrica
CE₆ = Veículo na fábrica pronto para ser descarregado
CE₇ = Madeira sendo descarregada do veículo
CE₈ = Veículos prontos para se deslocarem para garagem
CE₉ = Veículo vazio a caminho da garagem
CE₁₀ = Veículo vazio pronto para se deslocar até madeira pronta na estrada
CE₁₁ = Veículo vazio a caminho da madeira pronta
CE₁₂ = Carregador livre para iniciar carregamento
MD₁ = Madeira descarregada na fábrica
DE₁ = Carregador livre para iniciar descarregamento

Elementos do ciclo operacional:

TRD₁ = Início do carregamento
TRD₂ = Carregamento do veículo
TRD₃ = Início da viagem carregada até a fábrica
TRD₄ = Viagem carregada até a fábrica
TRD₅ = Início do descarregamento
TRD₆ = Descarregamento do veículo
TRD₇ = Início do deslocamento para garagem
TRD₈ = Veículo na garagem
TRD₉ = Início da viagem vazia
TRD₁₀ = Viagem vazia até madeira pronta
TCE₁ = Início do carregamento

TCE₂ = Carregamento do veículo
TCE₃ = Início da viagem carregada até a fábrica
TCE₄ = Viagem carregada até a fábrica
TCE₅ = Início do descarregamento
TCE₆ = Descarregamento do veículo
TCE₇ = Início do deslocamento para garagem
TCE₈ = Veículo na garagem
TCE₉ = Início da viagem vazia
TCE₁₀ = Viagem vazia até madeira pronta

A cada elemento do ciclo operacional existe um intervalo de disparo associado (tempos). Os símbolos θ_1 e θ_2 representam, os valores mínimo e máximo de tempo de cada intervalo.

Lugares e transições (RD) são da Regional do Rio Doce

Lugares e transições (CE) são da Regional de Cocais das Estrelas

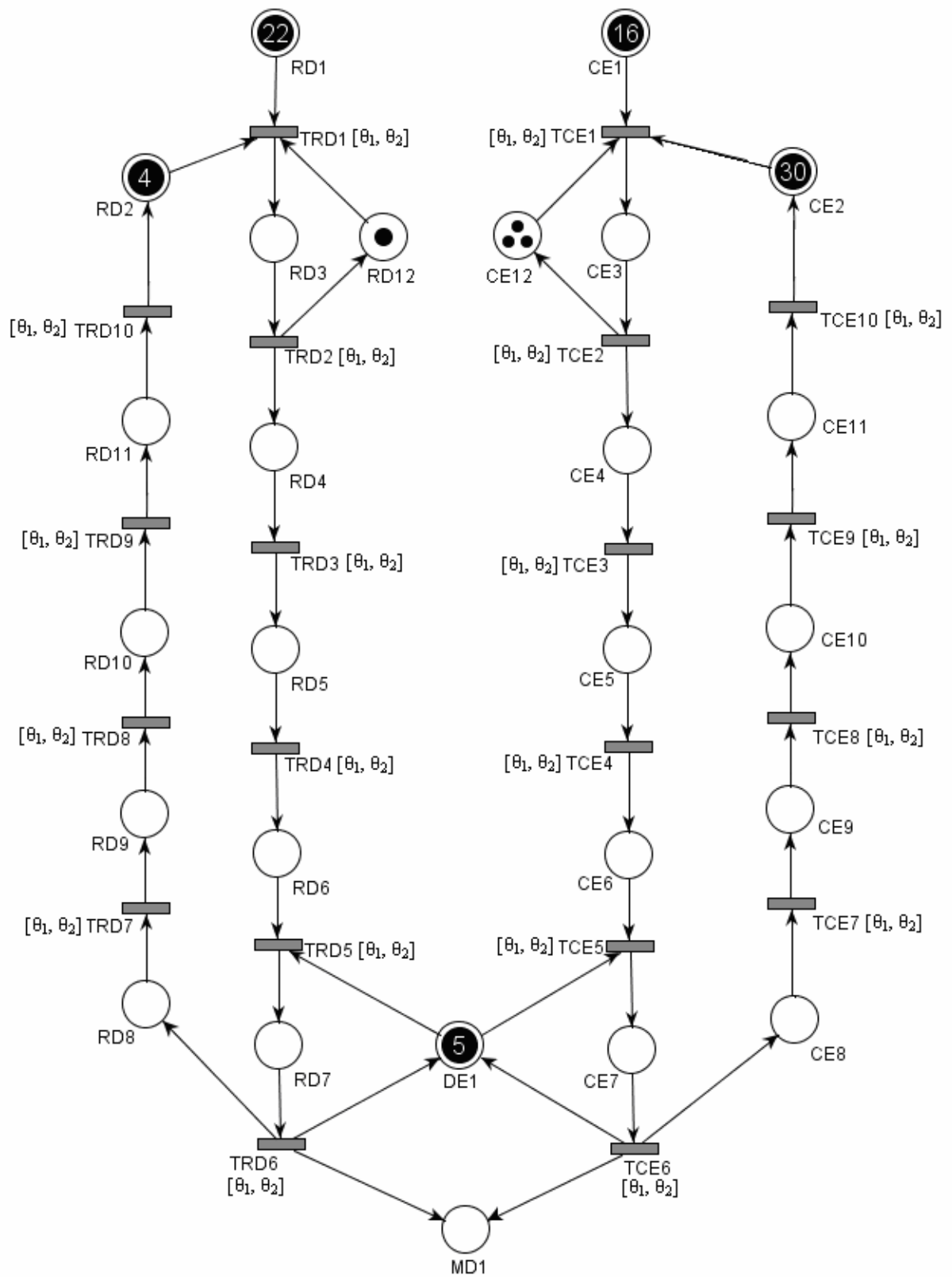


Figura 15 – Estrutura de Rede de Petri Temporal (RPT) representando o transporte rodoviário de madeira das regionais do Rio Doce e Cocais das Estrelas

Elaboraram-se diferentes cenários de funcionamento da cadeia de suprimento rodoviário de madeira (Quadro 6). A definição do problema requer quantificar o tempo necessário para que uma quantidade de madeira percorra a cadeia logística, desde o carregamento no campo até chegar a fábrica, bem como quantificar os recursos necessários para manter o sistema funcionando sob determinados padrões tecnológicos e de nível de serviço.

Quadro 6 – Descrição dos cenários hipotéticos estudados

| Cenários | Descrição | Impacto no tempo do ciclo |
|-----------------|--|---|
| Atual | Situação real das estradas florestais, do número de carregadores e da eficiência da garagem. | |
| Cenário 1 | Melhoria das Estradas Florestais | Redução em 50% do tempo de viagem em estradas florestais (ida e volta) |
| Cenário 2 | Aumento do número de carregadores | Redução em 50% do tempo de carregamento através do aumento de carregadores (Rio Doce de 1 para 2 ou Cocais das Estrelas de 3 para 6) |
| Cenário 3 | Aumento da eficiência na garagem | Redução em 50% do tempo de permanência na garagem |
| Cenário 4 | Melhoria das Estradas Florestais e Aumento do número de carregadores | {Redução em 50% do tempo de viagem em estradas florestais (ida e volta)} + {Redução em 50% do tempo de carregamento através do aumento de carregadores (Rio Doce de 1 para 2 ou Cocais das Estrelas de 3 para 6)} |
| Cenário 5 | Melhoria das Estradas Florestais e Aumento da eficiência na garagem | {Redução em 50% do tempo de viagem em estradas florestais (ida e volta)} + {Redução em 50% do tempo de permanência na garagem} |
| Cenário 6 | Aumento do número de carregadores e Aumento da eficiência na garagem | {Redução em 50% do tempo de carregamento através do aumento de carregadores (Rio Doce de 1 para 2 ou Cocais das Estrelas de 3 para 6)} + {Redução em 50% do tempo de permanência na garagem} |

| | | |
|-----------|---|---|
| Cenário 7 | Melhoria das Estradas Florestais, Aumento do número de carregadores e Aumento da eficiência na garagem. | {Redução em 50% do tempo de viagem em estradas florestais (ida e volta)} + {Redução em 50% do tempo de carregamento através do aumento de carregadores (Rio Doce de 1 para 2 ou Cocais das Estrelas de 3 para 6)} + {Redução em 50% do tempo de permanência na garagem} |
|-----------|---|---|

Para cada cenário, em ambas as regionais, foi avaliado o desempenho logístico, em termos de tempo de ciclo operacional e utilização de frota, associado a cada cenário simulado, em contraposição à situação atual da cadeia logística. Para conhecer o impacto na cadeia logística, oriundo das modificações propostas em cada cenário, foram consideradas as variáveis essenciais (elementos do ciclo operacional de transporte) e a frota de caminhões vinculada a cada regional.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o ADELCAAP é um modelo determinístico, com base no tempo do ciclo operacional, no qual as incertezas não são consideradas, situações atípicas como, por exemplo, madeira transportada para a indústria, mas descartada no pátio por não-conformidade, não são captadas, uma vez que este tipo de aleatoriedade não é reconhecido pelo modelo. Apesar disso, alguns fatores de ordem prática podem influenciar o tomador de decisão a optar por outra estrutura diferente daquela que possibilitaria a redução dos tempos de ciclo operacional do transporte rodoviário de madeira.

5.1. Modelagem e simulação dos cenários para a regional do Rio Doce

5.1.1. Cenário atual

O cenário que representa a atual forma de operação do sistema modelado de transporte de madeira, da regional do Rio Doce para a fábrica, está representado por parte da Rede de Petri (Figura 16) através dos lugares (RD_x) e transições (TRD_x), e a partir dele se processou as simulações dos cenários hipotéticos. A definição da estrutura adotada como cenário atual só foi possível após uma visita à empresa.

Descreveu-se um exemplo como uma das possibilidades do funcionamento do modelo atual da regional do Rio Doce para facilitar a compreensão da lógica apresentado na Figura 16. A distribuição de fichas na estrutura do cenário atual corresponde a:

- 22 fichas no lugar RD_1 : Cada ficha significa 45 toneladas de madeira, que é a carga média transportada por cada veículo numa viagem e, o transporte de todas as fichas corresponde à carga diária que deve ser transportada da regional do Rio Doce para cumprir o planejamento;

- 4 fichas no lugar RD_2 : Cada ficha representa um veículo disponível para transporte na regional com 24 horas livre;

- 1 ficha no lugar RD_{12} : Essa ficha representa o carregador florestal, sendo que nesta regional, geralmente, apresenta apenas uma frente de carregamento;

- 5 fichas no lugar DE_1 : Cada ficha representa um carregador florestal disponível para descarregamento na fábrica, seja na esteira ou no pátio e independe a origem da madeira.

Para a marcação inicial dada, a transição TRD_1 está habilitada, visto que existem 22 fichas em RD_1 , 4 fichas em RD_2 e 1 ficha em RD_{12} . Isto significa que as condições de “45 toneladas média de madeira pronta para ser carregada em cada veículo, os veículos vazios (Rodotrens) estão prontos para serem carregados e o carregador está livre para carregamento dos veículos” são plenamente atendidas. Sendo assim, disparando TRD_1 significa que a madeira pronta já pode começar a ser carregada no veículo.

O ato de “começar a carregar o veículo com a madeira pronta” ocorre de forma instantânea quando o carregador está livre (por isso o intervalo ou janela de disparo de TRD_1 é $[0, 0]$). Assim, logo que as condições são satisfeitas, a madeira é carregada no veículo (representada pelo lugar RD_3). O carregamento dura entre 28 e 61 minutos, o que está representado pela janela de disparo da transição TRD_2 . Terminado o carregamento, a transição TRD_2 dispara e a ficha passa a ocupar o lugar RD_4 , significando que o estado “veículo carregado” é finalmente alcançado.

Com a ficha no lugar RD_4 , sabe-se que o veículo está carregado e pronto para iniciar viagem até a fábrica. Isto também acontece de forma instantânea ($TRD_3 [0, 0]$), passando ao estado “veículo carregado a caminho da fábrica”, representado por RD_5 . Nesse deslocamento carregado pode transcorrer de 19 a 71 minutos (representado por $TRD_4 [19, 71]$) até que este veículo chegue a fábrica e inicia o descarregamento, que é representado pelo lugar RD_6 . O disparo instantâneo de TRD_5 dá início a uma nova etapa do ciclo operacional da madeira, isto é, o início do descarregamento do veículo (representado por RD_7), mas depende do carregador livre para descarregamento que atende veículos de todas as regionais (representado por DE_1).

O descarregamento dura entre 10 a 138 minutos, tempo que é controlado pelo disparo de TRD₆.

A madeira descarregada é representada por MD₁ e o veículo descarregado e pronto para ir para a garagem por RD₈. Esse deslocamento para garagem começa instantaneamente e é representado pelo disparo de TRD₇. O veículo vazio a caminho da garagem é representado por RD₉. A disponibilidade para manutenção, abastecimento e troca de motorista é representada pelo disparo de TRD₈ e sua duração varia de 2 a 23 minutos. O veículo vazio para se deslocar até a madeira pronta no campo é representado pelo lugar RD₁₀. O disparo de TRD₉, se dá de forma instantânea e representa o início da viagem vazia. O veículo vazio a caminho da madeira pronta é representado por RD₁₁ e a viagem vazia do veículo até a madeira pronta no campo (TRD₁₂) dura de 10 a 67 minutos. O tempo total do ciclo varia de 69 a 360 minutos.

5.1.2. Cenários hipotéticos

Dentre as três variáveis estudadas nos cenários, a que mais interfere no resultado final do ciclo operacional do Rio Doce é o aumento do número de carregadores (Cenário 2), isso porque a distância percorrida em estradas florestais e o tempo de permanência na garagem são pequenos em relação ao tempo de carregamento do veículo. Conseqüentemente, os melhores cenários hipotéticos são aqueles formados pela combinação do aumento de número de carregadores e outra atividade (Quadro7). O tempo total gasto para cumprir o transporte de toda carga diária é distribuído entre todos os veículos da regional. O tempo do ciclo de cada cenário detalhado por elemento pode ser conferido nos anexos.

Quadro 7 – Resultados dos tempos médio por ciclo e total da Regional do Rio Doce

| Cenários | Tempo Médio por Ciclo (min.) | Tempo Médio Total (min.) | Tempo Médio Total (horas) |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Atual | 214 | 4708 | 78:28 |
| C1 | 199 | 4378 | 72:58 |
| C2 | 192 | 4224 | 70:24 |
| C3 | 208 | 4576 | 76:16 |
| C4 | 177 | 3894 | 64:54 |
| C5 | 193 | 4246 | 61:46 |
| C6 | 186 | 4092 | 68:12 |
| C7 | 171 | 3762 | 62:42 |

5.2. Modelagem e simulação dos cenários para a regional do Cocais das Estrelas

5.2.1. Cenário atual

O cenário que representa a atual forma de operação do sistema modelado de transporte de madeira, da regional de Cocais das Estrelas para a fábrica, está representado por parte da Rede de Petri (Figura 16) através dos lugares (CE_x) e transições (TCE_x), e a partir dele se processou as simulações dos cenários hipotéticos. A definição da estrutura adotada como cenário atual só foi possível após uma visita à empresa.

Descreveu-se um exemplo como uma das possibilidades do funcionamento do modelo atual da regional de Cocais das Estrelas para facilitar a compreensão da lógica apresentado na Figura 16. A distribuição de fichas na estrutura do cenário atual corresponde a:

- 16 fichas no lugar CE_1 : Cada ficha significa 45 toneladas de madeira, que é a carga média transportada por cada veículo numa viagem e, o transporte de todas as fichas corresponde à carga diária que deve ser transportada da regional de Cocais das Estrelas para cumprir o planejamento;

- 30 fichas no lugar CE_2 : Cada ficha representa um veículo disponível para transporte na regional com 24 horas livre;

- 3 fichas no lugar CE_{12} : Essa ficha representa o carregador florestal, sendo que nesta regional, geralmente, apresenta apenas uma frente de carregamento;

- 5 fichas no lugar DE_1 : Cada ficha representa um carregador florestal disponível para descarregamento na fábrica, seja na esteira ou no pátio e independe a origem da madeira.

Para a marcação inicial dada, a transição TCE_1 está habilitada, visto que existem 16 fichas em CE_1 , 30 fichas em CE_2 e 3 ficha em CE_{12} . Isto significa que as condições de “45 toneladas média de madeira pronta para ser carregada em cada veículo, os veículos vazios (Rodotrens) estão prontos para serem carregados e o carregador está livre para carregamento dos veículos” são plenamente atendidas. Sendo assim, disparando TRD_1 significa que a madeira pronta já pode começar a ser carregada no veículo.

O ato de “começar a carregar o veículo com a madeira pronta” ocorre de forma instantânea quando o carregador está livre (por isso o intervalo ou janela de disparo de TCE_1 é $[0, 0]$). Assim, logo que as condições são satisfeitas, a madeira é carregada no veículo (representada pelo lugar CE_3). O carregamento dura entre 6 e 109 minutos, o que está

representado pela janela de disparo da transição TCE₂. Terminado o carregamento, a transição TCE₂ dispara e a ficha passa a ocupar o lugar CE₄, significando que o estado “veículo carregado” é finalmente alcançado.

Com a ficha no lugar CE₄, sabe-se que o veículo está carregado e pronto para iniciar viagem até a fábrica. Isto também acontece de forma instantânea (TCE₃ [0, 0]), passando ao estado “veículo carregado a caminho da fábrica”, representado por CE₅. Nesse deslocamento carregado pode transcorrer de 84 a 279 minutos (representado por TCE₄ [84, 279]) até que este veículo chegue à fábrica e inicia o descarregamento, que é representado pelo lugar CE₆. O disparo instantâneo de TCE₅ dá início a uma nova etapa do ciclo operacional da madeira, isto é, o início do descarregamento do veículo (representado por CE₇), mas depende do carregador livre para descarregamento que atende veículos de todas as regionais (representado por DE₁). O descarregamento dura entre 10 a 130 minutos, tempo que é controlado pelo disparo de TCE₆.

A madeira descarregada é representada por MD₁ e o veículo descarregado e pronto para ir para a garagem por CE₈. Esse deslocamento para garagem começa instantaneamente e é representado pelo disparo de TCE₇. O veículo vazio a caminho da garagem é representado por CE₉. A disponibilidade para manutenção, abastecimento e troca de motorista é representada pelo disparo de TCE₈ e sua duração varia de 2 a 35 minutos. O veículo vazio para se deslocar até a madeira pronta no campo é representado pelo lugar CE₁₀. O disparo de TCE₉, se dá de forma instantânea e representa o início da viagem vazia. O veículo vazio a caminho da madeira pronta é representado por CE₁₁ e a viagem vazia do veículo até a madeira pronta no campo (TCE₁₂) dura de 85 a 197 minutos. O tempo total varia de 187 a 750 minutos.

5.2.2. Cenários hipotéticos

Dentre as três variáveis estudadas nos cenários, a que mais interfere no resultado final do ciclo operacional de Cocais das Estrelas é a melhoria das estradas florestais (Cenário 1), isso porque o tempo de carregamento do veículo e a permanência na garagem são pequenos em relação ao tempo de deslocamento do veículo. Conseqüentemente, os melhores cenários hipotéticos são aqueles formados pela combinação da melhoria das estradas florestais e outra atividade (Quadro 8). O tempo total gasto para cumprir o transporte de toda carga diária é

distribuído entre todos os veículos da regional. O tempo do ciclo de cada cenário detalhado por elemento pode ser conferido nos anexos.

Quadro 8 – Resultados dos tempos médio por ciclo e total da Regional de Cocais das Estrelas

| Cenários | Tempo Médio por Ciclo (min.) | Tempo Médio Total (min.) | Tempo Médio Total (horas) |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Atual | 469 | 7504 | 125:04 |
| C1 | 408 | 6528 | 108:48 |
| C2 | 440 | 7040 | 117:20 |
| C3 | 460 | 7360 | 122:40 |
| C4 | 379 | 6064 | 101:04 |
| C5 | 399 | 6384 | 106:24 |
| C6 | 431 | 6896 | 114:56 |
| C7 | 370 | 5920 | 98:40 |

5.3. Avaliação de desempenho dos cenários

Na avaliação de desempenho do transporte rodoviário de madeira, com Rede de Petri Temporal (RDP), utilizou-se a função de densidade de probabilidade uniforme associada ao intervalo de disparo de cada transição, com abordagem orientada a estados. Cada ciclo de simulação consistiu no disparo das transições sensibilizadas em instantes aleatórios (sorteados de acordo com o intervalo de disparo e a curva de densidade de probabilidade de cada transição) até alcançar um destino, um bloqueio ou superar o número máximo de disparos fixado onde é efetuada a medida estatística entre o disparo do evento inicial e o disparo de algum evento destino. Ao final de cada ciclo foram atualizados os contadores estatísticos e restaurada a marcação inicial. Os ciclos foram repetidos até ser alcançada a precisão desejada de 0,10%.

Analisando-se os resultados de desempenho do transporte de madeira na regional do Rio Doce, obtidos na simulação com o ARP, verificou-se que, dentre os três fatores variáveis dos cenários, o que interfere mais significativamente é o número de carregadores, como pode ser visto no Cenário 2 (10,59 %), seguido das melhorias das estradas florestais (Cenário 1) que apresentou bom resultado (7,40 %). Mas o impacto causado pela melhoria da eficiência da garagem (Cenário 3) é pouco expressivo (3,97 %). Individualmente, o melhor cenário é o número 2, porém os demais cenários, que são combinação dos três primeiros, apresentam resultados melhores. Os cenários 4, 6 e 7 apresentaram os melhores resultados, por serem

combinações com o cenário 2. Na Regional do Rio Doce, o Cenário 7, apresentou o melhor desempenho (19,24%). O Quadro 9, mostra os resultados da simulação dos cenários e seus respectivos desempenhos.

Quadro 9 – Resultados das simulações de desempenho do transporte de madeira na regional do Rio Doce

| Cenários | Marcação Inicial | T. Médio | Desvio | T. Mín | T. Max | Desemp(%) |
|-----------------|-------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| Atual | 22*P1, 4*P2, P3, 5*P6 | 215,25 | 46,00 | 82,07 | 333,08 | 0 |
| C1 | 22*P1, 4*P2, P3, 5*P6 | 199,33 | 43,64 | 75,74 | 306,24 | 7,40 |
| C2 | 22*P1, 4*P2, 2*P3, 5*P6 | 192,45 | 44,26 | 78,22 | 308,76 | 10,59 |
| C3 | 22*P1, 4*P2, P3, 5*P6 | 206,71 | 44,69 | 89,01 | 330,74 | 3,97 |
| C4 | 22*P1, 4*P2, 2*P3, 5*P6 | 178,73 | 41,90 | 68,66 | 290,15 | 16,97 |
| C5 | 22*P1, 4*P2, P3, 5*P6 | 194,83 | 41,85 | 78,70 | 304,79 | 9,49 |
| C6 | 22*P1, 4*P2, 2*P3, 5*P6 | 187,30 | 43,26 | 75,84 | 294,03 | 12,98 |
| C7 | 22*P1, 4*P2, 2*P3, 5*P6 | 173,83 | 42,40 | 68,36 | 274,36 | 19,24 |

Analisando-se os resultados de desempenho do transporte de madeira na regional de Cocais das Estrelas, obtidos na simulação com o ARP, verificou-se que, dentre os três fatores variáveis dos cenários, o mais significativo foi a melhoria nas estradas, como pode ser visto no Cenário 1 (13,12 %), seguido das melhorias das estradas florestais (Cenário 2) que apresentou bom resultado (6,75 %). Porém, o impacto pela melhoria da eficiência da garagem (Cenário 3) foi pouco expressivo (2,81%). Analisando-se individualmente, o melhor cenário é o número 1, porém os demais cenários, que são combinações dos três primeiros, apresentaram resultados melhores. Os cenários 4, 5 e 7 apresentaram os melhores resultados, por serem combinações com o cenário 1. Na Regional de Cocais das Estrelas, o Cenário 7 apresentou o melhor desempenho (21,48 %). O Quadro 10 apresenta os resultados da simulação dos cenários e seus respectivos desempenhos.

Quadro 10 – Resultados das simulações de desempenho do transporte de madeira na regional de Cocais das Estrelas

| Cenários | Marcação Inicial | T. Médio | Desvio | T. Mín | T. Max | Desemp(%) |
|----------|--------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|
| Atual | 16*P1, 30*P2, 3*P3, 5*P6 | 470,82 | 78,89 | 270,27 | 704,27 | 0 |
| C1 | 16*P1, 30*P2, 3*P3, 5*P6 | 409,06 | 69,30 | 216,07 | 621,52 | 13,12 |
| C2 | 16*P1, 30*P2, 6*P3, 5*P6 | 439,04 | 73,82 | 251,61 | 663,22 | 6,75 |
| C3 | 16*P1, 30*P2, 3*P3, 5*P6 | 457,58 | 78,17 | 235,36 | 665,40 | 2,81 |
| C4 | 16*P1, 30*P2, 6*P3, 5*P6 | 380,01 | 66,27 | 195,86 | 560,95 | 19,29 |
| C5 | 16*P1, 30*P2, 3*P3, 5*P6 | 400,99 | 70,11 | 200,85 | 579,72 | 14,83 |
| C6 | 16*P1, 30*P2, 6*P3, 5*P6 | 431,64 | 74,20 | 230,33 | 639,42 | 8,32 |
| C7 | 16*P1, 30*P2, 6*P3, 5*P6 | 369,70 | 64,59 | 167,48 | 547,62 | 21,48 |

Observou-se a redução causada nos tempos dos ciclos de transporte de madeira em relação ao cenário atual. É possível notar que os cenários com melhores resultados são combinações com o Cenário 1 e 2, para Rio Doce e Cocais das Estrelas, respectivamente (Figura 16).

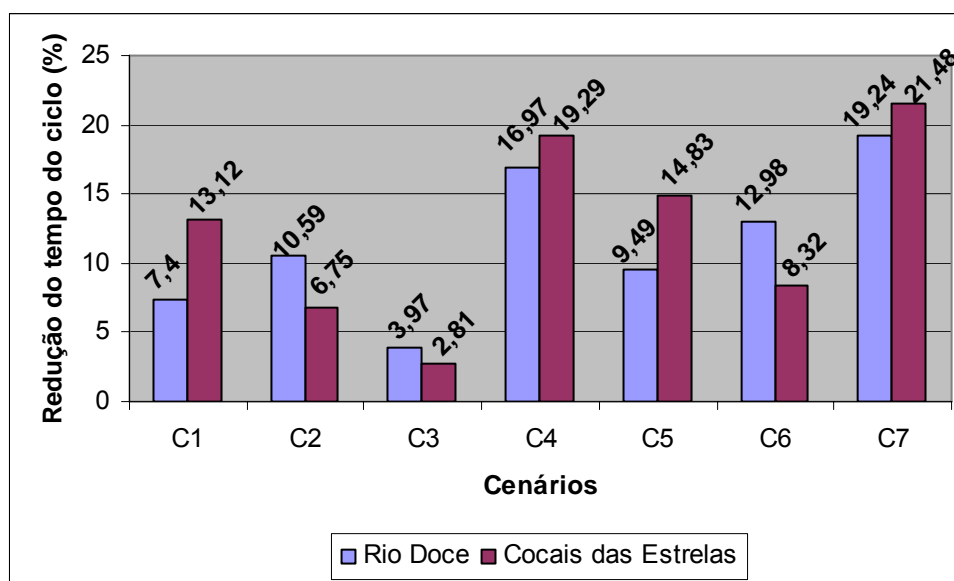


Figura 16 – Redução dos tempos dos ciclos de transporte de madeira em relação ao cenário atual

5.4. Avaliação do desempenho operacional do transporte rodoviário de madeira

Para se avaliar o desempenho operacional do transporte de madeira na área estudada, em função da carga transportada, distância percorrida e tempo de ciclo, foram calculados os desempenhos em cada cenário simulado. Observou-se que quanto maior o tempo do ciclo

operacional, pior o desempenho operacional do transporte de madeira (Figura 17 e Quadro 11).

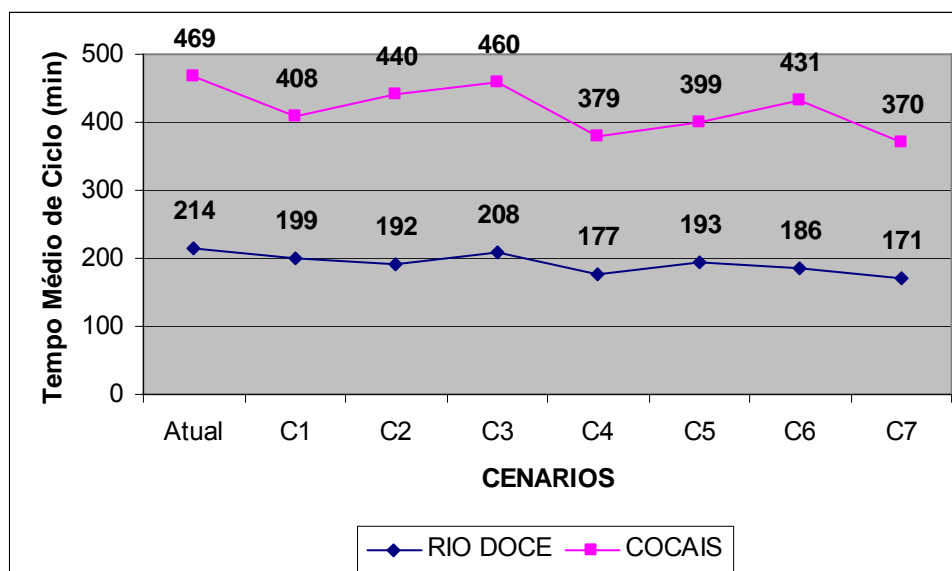


Figura 17 – Comportamento dos tempos dos ciclos operacionais dos cenários simulados

Quadro 11 – Resultados simulados de desempenho operacional do transporte de madeira (t/km.h)

| CENÁRIOS | Rio Doce | | | Cocais das Estrelas | | |
|----------|----------|--------|--------|---------------------|--------|--------|
| | MÍNIMO | MÉDIO | MÁXIMO | MÍNIMO | MÉDIO | MÁXIMO |
| Atual | 1,9565 | 0,6308 | 0,3750 | 0,1740 | 0,0694 | 0,0434 |
| 1 | 2,1094 | 0,6784 | 0,4018 | 0,2099 | 0,0797 | 0,0494 |
| 2 | 2,4545 | 0,7031 | 0,4091 | 0,1768 | 0,0739 | 0,0467 |
| 3 | 1,9853 | 0,6490 | 0,3868 | 0,1749 | 0,0707 | 0,0444 |
| 4 | 2,7000 | 0,7627 | 0,4412 | 0,2140 | 0,0858 | 0,0538 |
| 5 | 2,1429 | 0,6995 | 0,4154 | 0,2112 | 0,0815 | 0,0507 |
| 6 | 2,5000 | 0,7258 | 0,4232 | 0,1778 | 0,0755 | 0,0479 |
| 7 | 2,7551 | 0,7895 | 0,4576 | 0,2154 | 0,0879 | 0,0553 |

O tempo total de viagem (ida + retorno) representa cerca de 39,25 e 68,66% do tempo do ciclo de transporte de madeira, respectivamente, nas regionais do Rio Doce e de Cocais das Estrelas. Embora a velocidade média de operação em ambas as regionais sejam praticamente iguais (Cocais das Estrelas = 29 km/h e Rio Doce = 27 km/h), o desempenho operacional do

transporte de madeira em Cocais das Estrelas foi inferior ao do Rio Doce devido à distância média ser quatro vezes menor, portanto mais sensível à melhoria da qualidade das estradas (Figura 18).

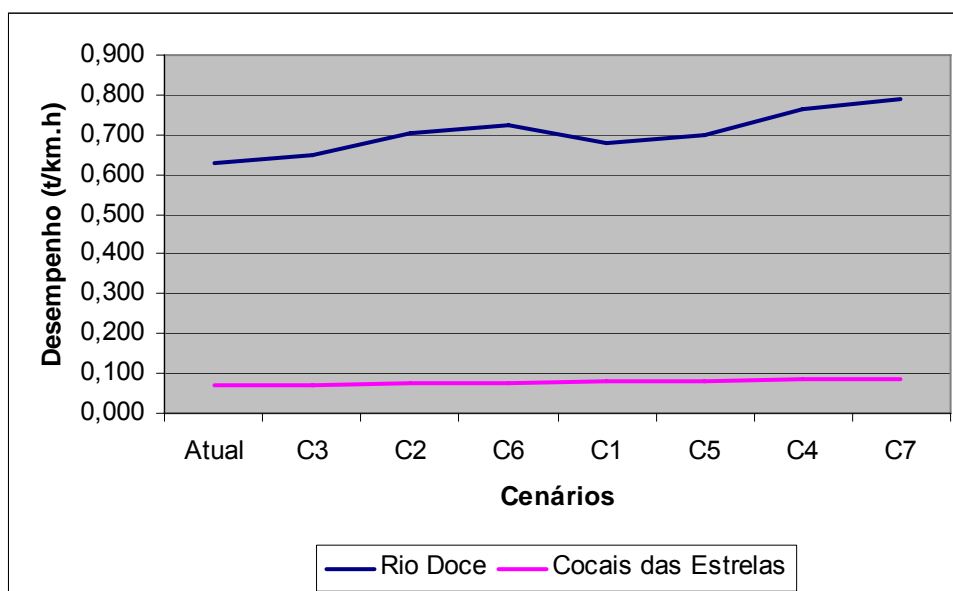


Figura 18 – Evolução do desempenho operacional médio simulado do transporte de madeira nos diferentes cenários

5.5. Avaliação do desempenho econômico do transporte rodoviário de madeira

O custo operacional utilizado é o valor pago pelo frete não estando incluso o custo referente a investimentos. Na regional do Rio Doce, pode-se observar que o Cenário 7, não só apresentou o melhor desempenho em termos de tempo do ciclo como também o menor custo operacional por ciclo, ou seja, uma redução de 20,09 % no custo do frete da madeira entregue na fábrica em relação ao custo atual. O impacto nos custos operacionais por ciclo na regional do Rio Doce variam de 2,80% (R\$ 223,93) no Cenário 3 a 20,09% (R\$ 184,10) no Cenário 7 (Quadro 12).

Quadro 12 – Custos operacionais por ciclo de transporte de madeira na regional do Rio Doce

| Cenários | Tempo Médio do Ciclo (min.) | Custo Total (R\$) |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------|
| Atual | 214 | 230,39 |
| C1 | 173 | 214,24 |
| C2 | 192 | 206,71 |
| C3 | 208 | 223,93 |
| C4 | 151 | 190,56 |
| C5 | 167 | 207,78 |
| C6 | 186 | 200,25 |
| C7 | 145 | 184,10 |

Na regional de Cocais das Estrelas, assim como no Rio Doce, pode-se observar que o Cenário 7 não só apresentou o melhor desempenho em termos de tempo do ciclo como também no custo operacional por ciclo. Isto representa uma redução de 21,22 % no custo do frete da madeira entregue na fábrica em relação ao custo atual. O impacto nos custos operacionais por ciclo na regional de Cocais das Estrelas variam de 2,06% (R\$ 672,66) no cenário 3 até 21,22% (R\$ 541,05) no cenário 7 (Quadro 13).

Quadro 13 – Custos operacionais por ciclo de transporte de madeira na regional de Cocais das Estrelas

| CENÁRIOS | Tempo de ciclo (min.) | Custo Total (R\$) |
|-----------------|------------------------------|--------------------------|
| Atual | 469 | 685,82 |
| C1 | 309 | 596,62 |
| C2 | 440 | 643,41 |
| C3 | 460 | 672,66 |
| C4 | 280 | 554,21 |
| C5 | 300 | 583,46 |
| C6 | 431 | 630,25 |
| C7 | 271 | 541,05 |

Os custos operacionais do veículo, por ciclo de transporte de madeira na regional do Rio Doce, em relação ao cenário atual, é menor nos cenários onde houve aumento do número de carregadores, ou sejam, Cenários 4, 6 e 7. Os custos operacionais do veículo, por ciclo de transporte de madeira na regional de Cocais das Estrelas em relação ao cenário atual, é menor nos cenários onde houve melhorias nas estradas (Cenários 4, 5 e 7) apresentam os melhores resultados (Figura 19).

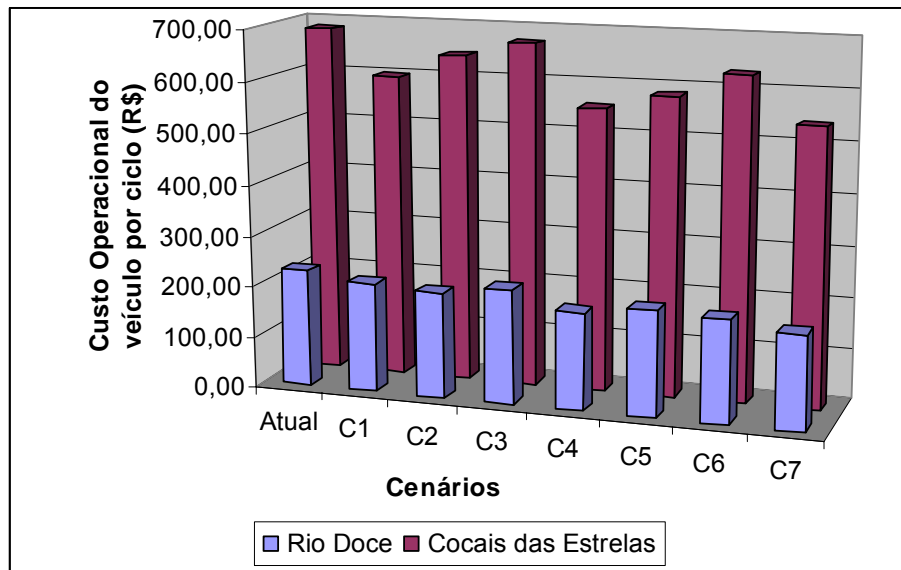


Figura 19 – Custo operacional do veículo por ciclo nos cenários de cada regional

6. CONCLUSÕES

- Comprovaram-se as potencialidades da Rede de Petri Temporal como ferramenta de modelagem, simulação, análise e avaliação de desempenho da cadeia logística de suprimento rodoviário de madeira;

- Foi possível diagnosticar o atual nível de desenvolvimento logístico do transporte de madeira estudado através do modelo desenvolvido utilizando Rede de Petri;

- Os fatores de maior influência no desempenho operacional do transporte de madeira nas áreas estudadas foram: o aumento do número de carregadores para Rio Doce e melhoria das estradas florestais para Cocais das Estrelas;

- As melhorias propostas através dos cenários possibilitam uma redução do tempo do ciclo operacional de até 19,24% e 21,48%, respectivamente em Rio Doce e Cocais das Estrelas;

- É possível uma redução de custo operacional de transporte de madeira de até 20,09% e 21,22%, respectivamente, em Rio Doce e Cocais das Estrelas, não considerando os custos de investimento;

- Considerando que o transporte consome cerca de 60% do gasto logístico e que é possível reduzir em média 20% do custo operacional de transporte, pode-se concluir que é possível reduzir em média 12% do custo da madeira posta-fábrica.

7. RECOMENDAÇÕES

- Testar a viabilidade econômica de cada cenários considerando os investimentos em melhorias das estradas, capacidade de trabalho da garagem e aumento dos recursos físicos;
- Fazer um estudo de toda cadeia logística de suprimento de madeira, levando-se em consideração os transportes rodoviário e ferroviário e todas as regionais, assim será possível simular um aumento em equipamentos para descarregamento na fábrica, onde sabe-se que é um atual gargalo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M.R.A. Logística Agroindustrial. In: BATALHA, M.O. **Gestão agroindustrial**. São Paulo: Editora Atlas, 1997. cap. 4.
- BALLOU, R. H.. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Planejamento, Organização e Logística Empresarial**. 4^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BALUTA, G. **Os fatores limitantes para a extração e transporte florestal em regiões acidentadas**. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXTRAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 6, 1989, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Fupef, 1989. p.133-144.
- BARNES, R.M. **Motion and time study: design and measurement of work**. 6.ed. New York: John Willey & Sons, 1968. 799p.
- BERGER, R, TIMOFEICZYK JÚNIOR, R, CARNIERI, C., LACOWICZ, P.G, SAWINSKI JUNIOR, J., BRASIL, A. A.. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Floresta**, Curitiba, v.33, n.1, p.53-62, 2003.
- BILLINGTON et al. **The Petri Net Markup Language: Concepts, Technology, and Tools**. Disponível em: <http://www.informatik.hu-berlin.de/top/pnml/download/about/PNML_CTT.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2006.
- BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J. **Logística Empresarial - O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.
- CARDOSO, J. e VALETTE, R. **Redes de Petri**. Florianópolis. Ed. UFSC, 1997
- CATELLI, A. **Controladoria: uma abordagem da gestão econômica - GECON**. São Paulo, Editora Atlas, 1999.

- CENTRO DE COMUNICAÇÃO SOCIAL DO EXÉRCITO BRASILEIRO. **A evolução do apoio logístico no Exército Brasileiro.** Disponível em: <www.exercito.gov.br/01Instit/Historia/Artigos/0031605.htm>. Acesso em: 18 jan. 2006.
- CHOPRA, S., MEINDL, P., **Gerenciamento da cadeia de suprimento.** São Paulo: Editora Pearson, 2004, 465 p.
- CHRISTOPHER, M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.** São Paulo: Pioneira, 1997, 240 p.
- COLOMBELLI FILHO, M. - **Efeito do custo do transporte no preço da madeira.** In: Seminário Paulista de Silvicultura, 1ª, Campinas, Julho. 1973. p. 98-108.
- COPACINO, W.C. **Supply chain management: the basics and beyond.** St. Lucie Press, Boca Raton & APICS, Falls Church, 1997.
- COSTA, E.J.S.C. **Avaliação do desempenho logístico de cadeias produtivas agroindustriais: Um modelo com base no tempo de ciclo.** UFC. Fortaleza-CE, 2002. 182 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes).
- COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT. Disponível em: <http://cscmp.org/>. Acesso em: 04 jan. 2006.
- DIAS, M. A.. **Administração de Materiais - Uma abordagem logística.** São Paulo: Atlas, 1993.
- EAN BRASIL. Disponível em: www.eanbrasil.org.br. Acessado em 04 jan. 2006.
- FLEURY, P.F., AVILA, M.G., WANKE, P. **Em busca da eficiência no transporte terceirizado: estrutura de custos, parceiras e eliminação de desperdícios.** Centro de Estudos em Logística – COPPEAD – UFRJ. Disponível em: <http://www.cel.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fr-desperd.htm> . Acessado em: 09 fev. 2006.
- GALLO, I. A. **O Papel da Logística na Globalização.** São Paulo, 1998. Disponível em: <<http://www.guialog.com.br/ARTIGO56a.html>>. Acesso em: 18 jan. 2006.
- GEIPOT - Grupo Executivo para a Integração da Política de Transportes. Disponível em: www.geipot.gov.br. Acessado em: 05 jul. 2005.
- HIJJAR, M.F., GERVÁSIO, M.H., FIGUEIREDO, K.F. **Mensuração de desempenho logístico e o modelo World Class Logistics (Parte 1).** Centro de Estudos em Logística – COPPEAD – UFRJ. Disponível em: http://www.cel.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fr-mensuracao_desempenho_1.htm. Acessado em: 09 fev. 2006.
- HO, D. C. K, AU, K. F, NEWTON, E. **Empirical research on supply chain management: a critical review and recommendations.** *International Journal of Production Research*, V. 40, n. 17, p. 4415-4430, 2002.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Ciência e tecnologia no setor florestal brasileiro: diagnóstico, prioridades e modelo de financiamento.** Disponível em: <http://www.ipef.br/mct/MCT_02.htm> Acesso em: 16 janeiro 2006.

KEEBLER, J.S.; et al. **Keeping score: measuring the business value of logistics in the supply chain.** Oak Brook, Council of Logistics Management, 1999.

KOBAYASCHI, S. **Renovação da Logística, Como definir estratégias de distribuição física global.** São Paulo: Atlas S. A, 2000.

LACOWICZ, P.G, BERGER, R, TIMOFEICZYK JÚNIOR, R, SILVA, J.C.G.L. Minimização dos custos de transporte rodoviário florestal com o uso da programação linear e otimização do processo. **Floresta**, Curitiba, v.32, n.1, p.75-87, 2002.

LAMBERT, D. M; STOCK, J. R.; ELLRAM, L. M. **Fundamentals of Logistics Management.** Ed. McGraw Hill, USA, 1998.

LEITE, A. M. P. **Análise de fatores que afetam o desempenho de veículos e o custo de transporte de madeira no distrito florestal do Vale do Rio Doce, MG.** Viçosa, MG: UFV, 1992. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1992.

LIMA JUNIOR, O.F. Análise e avaliação do desempenho dos serviços de transporte de carga In: CAIXETA FILHO, J.V.; MARTINS, R.S. **Gestão logística do transporte de cargas.** São Paulo: Editora Atlas, 2001, cap. 5, p.108-145.

LIMA JÚNIOR, O. F. **Qualidade em serviços de transportes: conceituação e procedimento para diagnóstico.** São Paulo, SP: EPUSP, 1995. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.

LIMA, M. P. **O Custeio do Transporte Rodoviário.** Centro de Estudos em Logística – COPPEAD – UFRJ. Disponível em: <<http://www.cel.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fr-custeio.htm>>. Acessado em: 08 fev. 2006.

LIMA, M. P. **Custos logísticos: uma visão gerencial.** Centro de Estudos em Logística – COPPEAD – UFRJ. Disponível em: <<http://www.cel.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fr-custo.htm>>. Acessado em: 09 fev. 2006.

MACHADO, C. C. et al. **Elementos básicos do transporte florestal rodoviário.** Viçosa: Editora UFV, 2000. 167p.

MANHEIM, M. (1979) *Fundamentals of transportation systems analysis.* MIT Press, Cambridge *apud* Lima Júnior, O. F. (2001) Análise e avaliação do desempenho dos serviços de transporte de carga. In: CAIXETA FILHO, J.V.; MARTINS, R.S. **Gestão logística do transporte de cargas.** São Paulo: Editora Atlas, 2001, cap. 5, p.108-145.

- MARQUES, R. T. **Otimização de um sistema de transporte florestal rodoviário pelo método Pert/CPM**. Viçosa, MG: UFV, 1994, 95p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- MARRANGHELLO, N. **Redes de Petri: Conceitos e aplicações**. DCCE/IBILCE/UNESP. Disponível em: <<http://www.dcce.ibilce.unesp.br/~norian/cursos/mds/ApostilaRdP-CA.pdf>>. Acessado em 07 abr. 2006.
- MURATA, T. **Petri Nets: Properties, analysis and applications**. *Proceedings of the IEEE*, v. 77, n. 4, p. 541-580. 1989.
- NAZÁRIO, P.; WANKE, P.; FLEURY, P.F. **O Papel do Transporte na Estratégia Logística**. Centro de Estudos em Logística – COPPEAD – UFRJ. Disponível em: <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-busca.htm?fr_art_transporte.htm>. Acessado em: 05 jan. 2006.
- OHMAE, K. **The Mind of the Strategist**, *Penguin Books*, 1983.
- PAGOTTO, L.S.; PIROLA, E.B.A.; SILVA, J.J.. **Logística, uma ferramenta estratégica para gerenciamento na cadeia de suprimentos e para redução de custos**. In: Congresso Brasileiro de Contabilidade, 16, 2001, Goiânia. Disponível em: <<http://www.Redecontabil.com.br/dow>>. Acessado em: 04 jan. 2006.
- PALOMINO, R. C. **Uma Abordagem para a Modelagem, Análise e Controle de Sistemas de Produção Utilizando Redes de Petri**. UFSC. Florianópolis - SC, 1995. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção).
- PALOMINO, R. C. **Um modelo para o planejamento e a programação da produção em ambientes job shop baseado em Redes de petri**. UFSC. Florianópolis - SC, 2001. 136 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção).
- PORTER, M. E. **Vantagem Competitiva – criando e sustentando um desempenho superior**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1990.
- SEIXAS, F. **Uma metodologia de seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira**. USP. São Carlos - SP, 1992. 106 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes).
- SHARMAN, G. **Good Logistics is Combat Power**. *The McKinsey Quarterly*, n.03 (1991); p. 3-21.
- SOUZA, P. T. **Logística Interna Para Empresas Prestadoras de Serviço**. 2002. Disponível em: <<http://guialog.com.br/ARTIGO350.htm>>. Acessado em: 04 jan. 2006.
- STEIN, F. R.; RODRIGUES, L. A.; SCHETTINO, S. **Sistema de transporte rodoviário da Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5, 2001, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: Sociedade de Investigações Florestais, 2001. p. 109-121.

- TABOADA, C. M. Logística: o diferencial da empresa competitiva. **Revista FAE Business**, n.2, p. 4-8, 2002.
- TABOADA, C. M.; GOMES, S. M.. **Medição do desempenho logístico no Pólo Moveleiro de São Bento do Sul**. In: XVI Congresso Internacional de Pesquisa em Logística, 2004, Fortaleza. Disponível em: <http://www.gelog.ufsc.br/Publicacoes/Medi%E7%E3odoDesempenholog%EDstico_p%F3loSBS.pdf>. Acessado em: 04 jan. 2006.
- VELLOSO, F. A. M., LOPES, E. T., ROLDI, L. M. **“TRITREM” – Alternativa para o transporte de madeira**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 3, 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade de Investigações Florestais, 1997. p.157-175.
- YAMADA, M.C.; PORTO, A.J.V.; INAMASU, R.Y. Aplicação dos conceitos de modelagem e de Redes de Petri na análise do processo produtivo da indústria sucroalcooleira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.6, p. 809-820, 2002.

9. ANEXOS

RIO DOCE

CENÁRIO ATUAL

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 28 | 44 | 61 |
| Viagem carregada | 19 | 45 | 71 |
| Descarregamento | 10 | 74 | 138 |
| Garagem | 2 | 12 | 23 |
| Viagem vazia | 10 | 39 | 67 |
| Tempo total do ciclo | 69 | 214 | 360 |

CENÁRIO 1: melhoria da estrada florestal

(redução de 50% tempo de viagem ida+retorno)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 28 | 44 | 61 |
| Viagem carregada | 16 | 37 | 58 |
| Descarregamento | 10 | 74 | 138 |
| Garagem | 2 | 12 | 23 |
| Viagem vazia | 8 | 32 | 56 |
| Tempo total do ciclo | 64 | 199 | 336 |

CENÁRIO 2: aumento do número de carregadores

(redução de 50% tempo de carregamento)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 14 | 22 | 31 |
| Viagem carregada | 19 | 45 | 71 |
| Descarregamento | 10 | 74 | 138 |
| Garagem | 2 | 12 | 23 |
| Viagem vazia | 10 | 39 | 67 |
| Tempo total do ciclo | 55 | 192 | 330 |

CENÁRIO 3: aumento da eficiência na garagem

(redução de 50% tempo de permanência na garagem)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 28 | 44 | 61 |
| Viagem carregada | 19 | 45 | 71 |
| Descarregamento | 10 | 74 | 138 |
| Garagem | 1 | 6 | 12 |
| Viagem vazia | 10 | 39 | 67 |
| Tempo total do ciclo | 68 | 208 | 349 |

CENÁRIO 4: cenários 1 + 2

(redução de 50% tempo de viagem e de carregamento)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 14 | 22 | 31 |
| Viagem carregada | 16 | 37 | 58 |
| Descarregamento | 10 | 74 | 138 |
| Garagem | 2 | 12 | 23 |
| Viagem vazia | 8 | 32 | 56 |
| Tempo total do ciclo | 50 | 177 | 306 |

CENÁRIO 5: cenários 1 + 3

(redução de 50% tempo de viagem e de garagem)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 28 | 44 | 61 |
| Viagem carregada | 16 | 37 | 58 |
| Descarregamento | 10 | 74 | 138 |
| Garagem | 1 | 6 | 12 |
| Viagem vazia | 8 | 32 | 56 |
| Tempo total do ciclo | 63 | 193 | 325 |

CENÁRIO 6: cenários 2 + 3

(redução de 50% tempo de carregamento e de garagem)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 14 | 22 | 31 |
| Viagem carregada | 19 | 45 | 71 |
| Descarregamento | 10 | 74 | 138 |
| Garagem | 1 | 6 | 12 |
| Viagem vazia | 10 | 39 | 67 |
| Tempo total do ciclo | 54 | 186 | 319 |

CENÁRIO 7: cenários 1 + 2 + 3

(redução de 50% tempo de viagem, de carregamento e de garagem)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 14 | 22 | 31 |
| Viagem carregada | 16 | 37 | 58 |
| Descarregamento | 10 | 74 | 138 |
| Garagem | 1 | 6 | 12 |
| Viagem vazia | 8 | 32 | 56 |
| Tempo total do ciclo | 49 | 171 | 295 |

COCAIS DAS ESTRELAS

CENÁRIO ATUAL

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 6 | 58 | 109 |
| Viagem carregada | 84 | 181 | 279 |
| Descarregamento | 10 | 70 | 130 |
| Garagem | 2 | 19 | 35 |
| Viagem vazia | 85 | 141 | 197 |
| Tempo total do ciclo | 187 | 469 | 750 |

CENÁRIO 1: melhoria da estrada florestal

(redução de 50% tempo de viagem ida+retorno)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 6 | 58 | 109 |
| Viagem carregada | 68 | 147 | 226 |
| Descarregamento | 10 | 70 | 130 |
| Garagem | 2 | 19 | 35 |
| Viagem vazia | 69 | 114 | 159 |
| Tempo total do ciclo | 155 | 408 | 659 |

CENÁRIO 2: aumento do número de carregadores

(redução de 50% tempo de carregamento)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 3 | 29 | 55 |
| Viagem carregada | 84 | 181 | 279 |
| Descarregamento | 10 | 70 | 130 |
| Garagem | 2 | 19 | 35 |
| Viagem vazia | 85 | 141 | 197 |
| Tempo total do ciclo | 184 | 440 | 696 |

CENÁRIO 3: aumento da eficiência na garagem

(redução de 50% tempo de permanência na garagem)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 6 | 58 | 109 |
| Viagem carregada | 84 | 181 | 279 |
| Descarregamento | 10 | 70 | 130 |
| Garagem | 1 | 10 | 18 |
| Viagem vazia | 85 | 141 | 197 |
| Tempo total do ciclo | 186 | 460 | 733 |

CENÁRIO 4: cenários 1 + 2

(redução de 50% tempo de viagem e de carregamento)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 3 | 29 | 55 |
| Viagem carregada | 68 | 147 | 226 |
| Descarregamento | 10 | 70 | 130 |
| Garagem | 2 | 19 | 35 |
| Viagem vazia | 69 | 114 | 159 |
| Tempo total do ciclo | 152 | 379 | 605 |

CENÁRIO 5: cenários 1 + 3

(redução de 50% tempo de viagem e de garagem)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 6 | 58 | 109 |
| Viagem carregada | 68 | 147 | 226 |
| Descarregamento | 10 | 70 | 130 |
| Garagem | 1 | 10 | 18 |
| Viagem vazia | 69 | 114 | 159 |
| Tempo total do ciclo | 154 | 399 | 642 |

CENÁRIO 6: cenários 2 + 3

(redução de 50% tempo de carregamento e de garagem)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 3 | 29 | 55 |
| Viagem carregada | 84 | 181 | 279 |
| Descarregamento | 10 | 70 | 130 |
| Garagem | 1 | 10 | 18 |
| Viagem vazia | 85 | 141 | 197 |
| Tempo total do ciclo | 183 | 431 | 679 |

CENÁRIO 7: cenários 1 + 2 + 3

(redução de 50% tempo de viagem, de carregamento e de garagem)

| Elementos do ciclo | TEMPO(min) | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | Min (-3s) | médio | Max (+3s) |
| Carregamento | 3 | 29 | 55 |
| Viagem carregada | 68 | 147 | 226 |
| Descarregamento | 10 | 70 | 130 |
| Garagem | 1 | 10 | 18 |
| Viagem vazia | 69 | 114 | 159 |
| Tempo total do ciclo | 151 | 370 | 588 |