

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Mauro Sérgio Zeferino

ROTEAMENTO – A FUNDAMENTAÇÃO DO ALGORITMO
ONE-DAY DELIVERY COM REDES DE PETRI TEMPORIZADAS
COLORIDAS E COM BLOCAGEM.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título *de Mestre em ciências em Engenharia de Produção*.

Orientador: Prof. Carlos Augusto Alcântara Gomes, D.Sc.

Itajubá

2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Mauro Sérgio Zeferino

ROTEAMENTO – A FUNDAMENTAÇÃO DO ALGORITMO ONE-DAY DELIVERY COM REDES DE PETRI TEMPORIZADAS COLORIDAS E COM BLOCAGEM.

Dissertação aprovada por banca examinadora em 21 de Setembro de 2005,
conferindo ao autor o título de *Mestre em Ciências de Engenharia de Produção*

Banca Examinadora:

Prof. Orlando Celso Longo, D.Sc.

Prof. Dagoberto Alves de Almeida, D.Sc.

Prof. Carlos Augusto Alcântara Gomes, D.Sc.(Orientador)

Itajubá

2005

A Deus pela presença constante
em minha vida e a minha família
de quem roubei momentos
preciosos de convivência.

Agradecimentos

Ao meu orientador Carlos Augusto pela amizade e disponibilidade.

A UNIFEI e todos os professores da Pós Graduação pela oportunidade de crescimento.

A todos os colegas de turma que de forma direta ou indireta contribuíram para meu crescimento.

A minha mãe, pois sem ela não chegaria aqui.

Muito obrigado!

Quem perde os seus bens, perde muito;
quem perde um amigo, perde mais; mas
quem perde a coragem, perde tudo.

(Miguel de Cervantes)

Resumo

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento e possibilidade de aplicação do algoritmo One-Day Delivery baseado nas Redes de Petri pt-Temporizadas coloridas para entrega de produtos a partir de uma central de distribuição. A relevância do tema abordado surgiu da observação do autor quanto à necessidade de um trabalho de cooperação para a gestão da cadeia de suprimentos entre as indústrias do segmento eletro-eletrônico, localizadas na Rota Tecnológica BR 459 com a finalidade de reduzir seus custos e conseqüentemente aumentar o seu potencial competitivo.

Palavras chave: (Redes de Petri pt-Temporizadas, Roteamento, Gestão da cadeia de suprimentos)

Abstract

This dissertation presents the development and the application possibilities of a “One-Day-Delivery” algorithm based on synchronized Petri nets coloured for the delivery of products from a distribution center.

The relevance of this subject was perceived from the author’s observation of the need to develop a cooperation work platform, to manage the supply chain in the electronics business industries located in the Technology Route 459, so that they could aim for operational cost reductions and increase their competitive potential.

Keywords: Pt-Temporized Petri Nets, Routing, Supply Chain Management

Índice

Resumo	vi
Abstract	vii
Índice	viii
Lista de Figuras	x
Lista de gráficos	xii
Lista de gráficos	xii
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Tabelas	xiii
Lista de quadros	xiv
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 - Estrutura da dissertação.....	2
1.2 - Objetivo Primário.....	2
1.3 - Objetivos Secundários	3
1.4 – Questões norteadoras.....	3
1.5 – As Pequenas e Médias empresas na Rota Tecnológica da BR-459 considerações e importância.....	4
1.5.1 - As Micro e Pequenas Empresas	4
1.5.2 – Clusters, sua definição segundo o Projeto Cresce Minas.....	8
1.5.3 - Fatores competitivos	12
1.5.4 – A necessidade de controle de fornecedores.....	16
1.5.5 – Modelo atual de compra de componentes eletrônicos	17
Capítulo 2 – Fundamentação Teórica.....	23
2.1 – Logística integrada.....	23
2.2 - O conceito de gestão da cadeia de suprimentos.....	25
2.3 – Roteamento.....	32
2.4 – Algoritmos dos problemas do caminho mais curto.....	33
2.4.1 Caixeiro Viajante	34
2.4.2 – Algoritmo de Ford-Fulkerson	37
2.4.3 – Algoritmo de Dijkstra	40
2.4.4 – A necessidade de criação de um novo algoritmo.....	42
2.4.5 - A utilização dos sistemas comerciais	43
2.5 - Redes de Petri - Definição e origem	44
2.5.1 - Conceituação Formal.....	45
2.5.2 - Conceituação Gráfica:	46
2.5.3 - Rede de Petri Marcada.....	47
2.5.4 - Disparo das transições	48
2.6 - Principais Propriedades das Redes de Petri	50
2.6.1 – Propriedades.....	50
2.6.2 - Propriedades Básicas.	51
2.6.3 - Propriedades Específicas	53
2.7 - Redes de Petri coloridas.....	56
2.8 – Redes de Petri com Capacidade Finita.....	57
2.9 - Redes de Petri com Arcos Inibidores ou blocadas.....	58
2.10 - Redes de Petri Contínuas.....	59

2.12 - Redes de Petri Sincronizadas	62
2.13 - Rede de Petri com temporização associada.	63
2.14 - Rede de Petri Estocástica.	66
Capítulo 3 - Metodologia.....	68
3.1 Tipo de Pesquisa.....	68
3.2 Universo da pesquisa.....	69
3.2.1 - O Cluster de Tecnologia da Rota tecnológica BR-459	69
3.2.2 - Histórico da Indústria do Vale da Eletrônica.....	70
Capítulo 4 - Algoritmo de roteamento One-day delivery	76
4.1 – Motivação.....	76
4.2 – O algoritmo	77
4.3 – Exemplo de aplicação do Algoritmo One-Day delivery	81
4.4 – One-Day Delivery na Rota Tecnológica BR-459	95
Capítulo 5 – Conclusões e recomendações	104
5.1 - Conclusões	104
5.2 – Recomendações para trabalhos futuros	105
Referências Bibliográficas	106

Lista de Figuras

Figura 1 - Níveis de integração de sistemas de manufatura	12
Figura 2- Elementos de Desempenho Slack (1993)	13
Figura 3 – Interdependência dos fatores competitivos Lau (2002).	16
Figura 4 Capacitor Original e Figura 5– Capacitor falsificado	17
Figura 6 – Possibilidades para aquisição de componentes eletrônicos descartando-se a possibilidade de compra de componentes de fabricantes nacionais.	17
Figura 7 - Rota onde deve-se determinar o menor percurso.....	35
Figura 8 –Passo 1. Uma rede após a introdução de um fluxo arbitrário compatível (passo 1):	38
Figura 9 – Passo 2. Uma Rede após computo do fluxo completo (todos os caminhos contenham pelo menos um arco saturado).....	38
Figura 10 - Passos 3.1 e 3.2. Uma rede após marcações	39
Figura 11 - Passo 3.3. Cômputo da seqüência do caminho que pode ser otimizado.....	39
Figura 12 - Passo 3.3. Rede após otimização do caminho anterior	39
Figura 13 - Passos 3.4, 3.1 e 3.2. Rede após nova tentativa de marcação.....	40
Figura 14 - Como a anti-raiz não foi marcada, o fluxo nesta rede é Maximo.....	40
Figura 15 – Exemplo Dijkstra	42
Figura 16 –Exemplo de Rede de Petri	47
Figura 17 - Rede de Petri marcada	48
Figura 18 - Disparo de uma transição. (Barros, 1996).	49
Figura 19 - Rede de Petri marcada e k-limitada Palomino (1995)	52
Figura 20 – Rede de Petri com uma atividade paralela	53
Figura 21 - Representação de uma situação de conflito	54
Figura 22 - Hierarquia numa Rede de Petri	55
Figura 23 – Rede de Petri colorida	57
Figura 24 - Rede de Petri com Capacidade Finita fonte (Palomino, 1995).....	58
Figura 25 - Rede de Petri com Arco Inibidor (Palomino,1995)	59
Figura 26 – Rede de Petri Contínua (David,1994)	60
Figura 27 - Rede de Petri Híbrida (Le bail ,1991).....	61
Figura 28 - Rede de Petri Sincronizada	62
Figura 29 - Equivalências entre RP p e RP t-Temporizadas. Fonte Barros (1995).....	66
Figura 30 – Localização da Rota Tecnológica BR 459.....	71
Figura 31 – Exemplo de Rp pt-Temporizada com bloqueio.....	77
Figura 32 – Quadriculado com indicação de onde colocar as quantidades solicitadas	78
Figura 33 – Local onde se deve colocar o custo do transporte.....	78
Figura 34 – Local onde se deve colocar o custo acumulado e o custo com retorno.....	79
Figura 35– Local onde se deve colocar o intervalo de tempo de uma cidade a outra.	79
Figura 36 – Local onde devem ser colocados os intervalos de tempo acumulado e com retorno.	80
Figura 37 – Local onde se deve colocar o volume transportado acumulado.....	80
Figura 38 – Distância entre cidades a serem atendidas	82
Figura 39 – Rede de Petri pt-Temporizada com bloqueio para as cidades do exemplo de aplicação	86
Figura 40 – Árvore de enumeração com possíveis trajetos a serem desenvolvidos.....	91
Figura 41 – Primeira possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração	93
Figura 42 – Segunda possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração	93

Figura 43 – Terceira possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração	93
Figura 44 –Quarta possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração.....	94
Figura 45 – Entregas a serem realizadas em forma de Rede de Petri colorida.....	95
Figura 46 – Distância entre cidades a serem atendidas	96
Figura 47 – Rede de Petri pt-Temporizada com bloqueio para as cidades do exemplo de aplicação	98
Figura 48 – Árvore de enumeração com possíveis trajetos a serem desenvolvidos.....	100
Figura 49 – Primeira possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração	100
Figura 50 – Segunda possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração	101
Figura 51 – Terceira possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração	102
Figura 52 – Quarta possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração.....	102
Figura 53 – Entregas a serem realizadas em forma de Rede de Petri colorida.....	103

Lista de gráficos

Gráfico 1 - Participação das empresas na economia brasileira, segundo seu porte.....	5
Gráfico 2 – Trabalhadores nas MPE e médias empresas, segundo setor de atividade.....	6

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Distribuição do número e empresas, segundo o setor de atividade.....	5
Tabela 2 – Valores médios atribuídos aos fatores competitivos: Lau, (2002).	15
Tabela 3 - $d_{12} = 3$, $d_{14} = 4$, $d_{13} = 5$, $d_{15} = 7$, $d_{16} = 10$	42
Tabela 4 – Custo acumulado do trajeto Vermelho	90
Tabela 5 - Custo acumulado do trajeto Marrom.....	90
Tabela 6 - Custo acumulado do trajeto Lilás	90
Tabela 7 - Custo acumulado do trajeto Verde	90
Tabela 8 - Custo acumulado do trajeto Azul escuro.....	90
Tabela 9 - Custo acumulado do trajeto Rosa	90
Tabela 10 - Custo acumulado do trajeto Preto	90
Tabela 11 - Custo acumulado do trajeto Amarelo.....	91
Tabela 12 - Custo acumulado do trajeto Azul claro	91
Tabela 13 – Comparativo entre as possibilidades da árvore de enumeração	94
Tabela 14 – Comparativo entre as possibilidades da árvore de enumeração	103

Lista de quadros

Quadro 1 – Classificação das empresas segundo o número de empregados (Sebrae, 2003).	7
Quadro 2 – Descrição dos Elementos de competitividade Porter (1999).....	13
Quadro 3 – Evolução do conceito de logística	25
Quadro 4 – Volume em litros solicitado em cada cidade	82
Quadro 5 – Distâncias mínimas a serem percorridas	84
Quadro 6 – Custo de transporte para cada cidade	84
Quadro 7 – Estimativa de tempo de deslocamento entre cidades em horas	85
Quadro 8 – Consumo de combustível por trecho por veículo	85
Quadro 10– Volume em litros solicitado em cada cidade	95
Quadro 11– Distâncias mínimas a serem percorridas	97
Quadro 12 – Custo de transporte para cada cidade	97
Quadro 13 – Estimativa de tempo de deslocamento entre cidades em horas	97

Capítulo 1 – Introdução

A nova tendência dos mercados, imposta pelos processos de globalização e formação de blocos econômicos, com a redução da importância das localizações geográficas, estão forçando as empresas a procurar atingir níveis de excelência à escala mundial. Mercados extremamente dinâmicos, caracterizados por uma grande diversificação da procura, produtos com ciclo de vida cada vez menor e a necessidades de desenvolvimento de produtos com inovações constantes, levam as empresas a procurar formas mais eficientes e ágeis de organização a fim de garantir sua sobrevivência a curto, médio e longo prazo (PEÇANHA, 2003).

Inseridas neste contexto, as micro e pequenas empresas da Rota Tecnológica BR-459 tem buscado otimizar seus processos reduzindo seus custos operacionais mantendo assim sua competitividade frente a grandes organizações que atuam em escala mundial. Tal busca passa necessariamente pelo bom gerenciamento de sua logística integrada e gerenciamento da cadeia de suprimentos (FLEURY, 1999), pois os custos com fornecedores de produtos e serviços podem representar de 70 a 80% do faturamento das empresas (BERK,S & BERK,J, 1997). Utilizando o conceito de que a integração externa permite eliminar duplicidades, reduzir custos, acelerar o aprendizado e customizar serviços (FLEURY & WANKE, 2000), este trabalho apresenta um algoritmo denominado One-Day Delivery que utiliza as Redes de Petri coloridas pt-Temporizadas e bloqueadas para a demonstração das rotas ótimas calculadas, criado com a intenção de facilitar o roteamento de entrega de componentes eletrônicos em um cenário cooperativo, a um baixo custo e sem a necessidade de compra de um sistema computacional específico para esta finalidade, que em um momento inicial torna-se oneroso demais para a realidade encontrada.

1.1 - Estrutura da dissertação

Além do Capítulo 1 - Introdução, esta dissertação compreende os seguintes capítulos:

2 - Justificativa envolvendo as razões pelas quais percebeu-se a necessidade de uma melhor organização das micro e pequenas empresas do cluster localizado na Rota tecnológica da BR-459 no tocante à gestão de sua cadeia de suprimentos e a possibilidade de ganho com adoção do modelo cooperativo proposto, apresentando também o ponto de partida para o desenvolvimento do algoritmo desenvolvido.

3 - Fundamentação Teórica que visa apresentar de forma consistente, os conceitos desenvolvidos nesta dissertação com uma visão geral acerca da logística integrada passando pelo conceito da Gestão da Cadeia de Suprimentos, Roteamento e por fim alguns Algoritmos utilizados no roteamento de veículos, procurando demonstrar suas vantagens e limitações.

4 - Metodologia de Pesquisa onde se busca esclarecer a forma de pesquisa desenvolvida, sua fundamentação, as preocupações metodológicas e apresentar o Universo da Pesquisa ou seja a cidade de Santa Rita do Sapucaí e a Rota Tecnológica da BR 459.

5 - O algoritmo One-Day Delivery é apresentado e resolvem-se dois exemplos um com dados aleatórios e outro com dados reais da Rota Tecnológica para demonstrar as vantagens da aplicação do algoritmo.

6 – Considerações finais sugestões para trabalhos futuros.

E por último, listam-se as referências bibliográficas utilizadas na dissertação.

1.2 - Objetivo Primário

Demonstrar a fundamentação do algoritmo de roteamento One-Day delivery com Redes de Petri coloridas bloqueadas e sua aplicabilidade na rota tecnológica BR 459.

1.3 - Objetivos Secundários

Demonstrar a possibilidade de incremento do potencial competitivo das empresas com a adoção de um sistema cooperativo para a gestão da cadeia de suprimentos.

Aplicar o algoritmo para roteamento de entrega de produtos ao longo da BR-459 criando-se um cenário de instalação de uma cooperativa para gestão da cadeia de suprimentos das micro e pequenas empresas da Rota Tecnológica BR-459 a partir de Santa Rita do Sapucaí, cidade escolhida por suas características históricas e importância regional.

Mostrar a simplicidade de utilização e os bons resultados obtidos pelo uso do algoritmo One-Day delivery desmistificando assim a hipótese da necessidade de utilização de um software para esta finalidade.

Apresentar a possibilidade de abastecimento das empresas ao longo da Rota Tecnológica em no máximo até o dia seguinte ao pedido, podendo assim minimizar seus espaços destinados à estocagem de matéria prima.

Apresentar uma outra aplicação as já consagradas “Redes de Petri” abrindo a possibilidade de aplicação em transportes e produção devido a sua fácil visualização em sistemas e programação.

1.4 – Questões norteadoras

É viável a implantação de uma gestão cooperativa para a gestão da cadeia de suprimentos na Rota Tecnológica BR-459?

O algoritmo One-day delivery pode ser utilizado no roteamento das viaturas desta cooperativa?

O algoritmo One Day Delivery é de fácil aplicação podendo ser adotado sem recursos computacionais?

O Desenvolvimento de recursos computacionais para com base no algoritmo One-Day Delivery seria de fácil execução?

1.5 – As Pequenas e Médias empresas na Rota Tecnológica da BR-459 considerações e importância.

Neste tópico, apresentaremos as razões pelas quais percebemos a necessidade de uma melhor organização das micro e pequenas empresas do cluster localizado na Rota tecnológica da BR-459 no tocante à gestão de sua cadeia de suprimentos e a possibilidade de ganho com adoção do modelo cooperativo proposto. Apresenta-se também o ponto de partida para o desenvolvimento do algoritmo desenvolvido.

1.5.1 - As Micro e Pequenas Empresas

As Micro e Pequenas (MPES) vêm sendo há muito tempo alvo da atenção de analistas econômicos devido a seu potencial de geração de renda e de emprego.

De acordo com dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS 2001), existem no Brasil cerca de 5,6 milhões de empresas, das quais 99% de micro e pequeno porte, 0,6% de médio e 0,4% de grande porte.

Neste universo, o setor da indústria responde por 18% do total de empresas, do comércio por 45% de serviços por 37%. Em relação às micro, o comércio detém a maior participação do mercado formal: 46% do total de empresas desse estrato empresarial. Nos pequenos empreendimentos, o setor de serviços apresenta a maior participação relativa, com cerca de 44% das organizações. Entre os negócios de médio porte, apesar da indústria ter uma participação significativa de 33%, é o setor de serviços que detém a maior participação relativa (47%).

O *Gráfico 1* apresenta a participação de cada categoria empresarial na economia nacional.

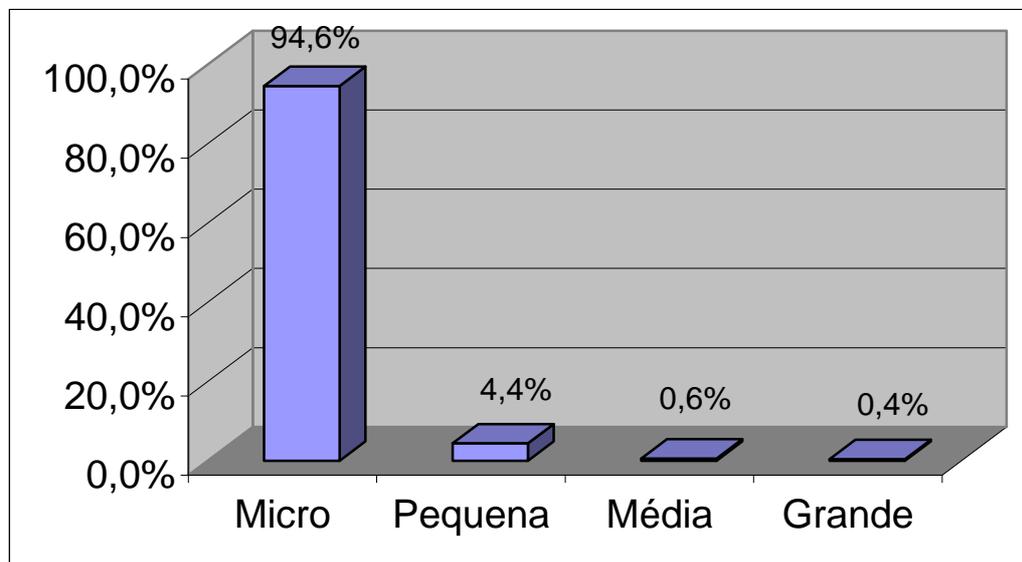


Gráfico 1 - Participação das empresas na economia brasileira, segundo seu porte.
Dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS 2001

A *Tabela 1* mostra a distribuição do número de empresas brasileiras, classificadas de acordo com os setores de atividade.

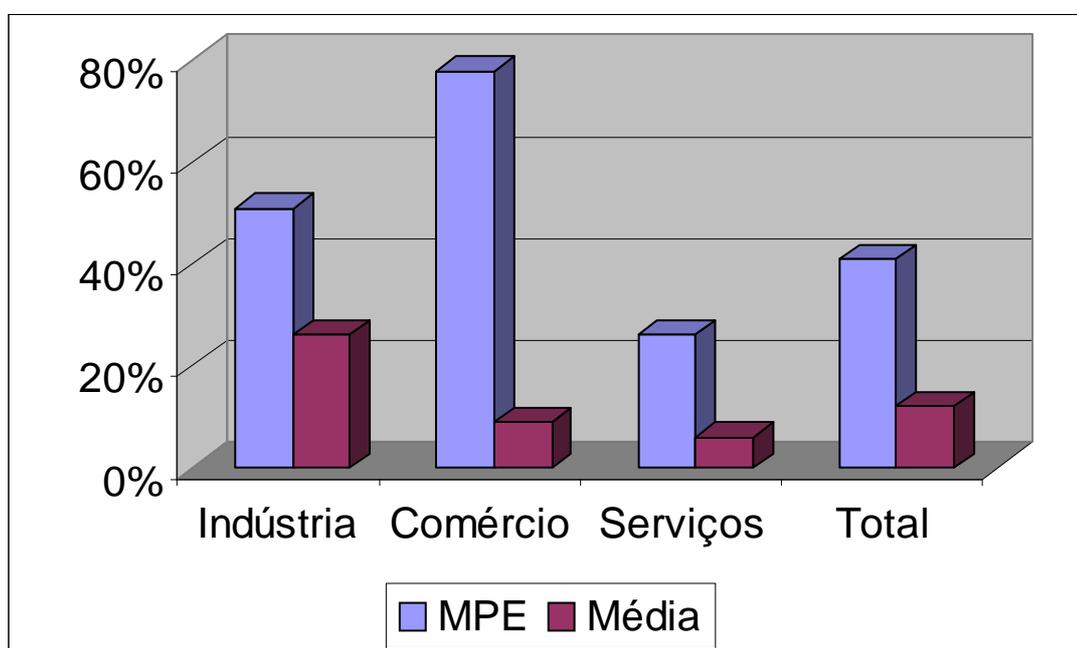
Porte	Indústria		Comércio		Serviços		Total	
	Nº Empresas	%	Nº Empresas	%	Nº Empresas	%	Nº Empresas	%
Micro	939.267	17,8	2.414.652	45,8	1.923.389	36,4	5.277.308	100
Pequena	48.314	19,7	88.941	36,2	108.203	44,1	245.458	100
Média	9.856	33,3	5.724	19,4	13.999	47,3	29.579	100
Grande	1.580	7,0	2.955	13,2	17.899	79,8	22.434	100
Total	999.017	17,9	2.512.272	45,1	2.063.490	37,0	5.574.779	100

Tabela 1 - Distribuição do número e empresas, segundo o setor de atividade.
Fonte: Relação Anual de Informações Sociais – RAIS 2001 – MTE

Com referência à distribuição de trabalhadores das empresas formais, o RAIS 2001 mostra que as micro e pequenas empresas são responsáveis por 41,4% dos postos de trabalho,

enquanto as médias respondem por 12,3%. Na indústria, as micro e pequenas empresas respondem por 51% dos trabalhadores formais, as médias por 26% e as grandes por 23%. No comércio, cerca de 78% dos postos de trabalho formais estão nas MPE e 9% nas médias empresas. Em termos de serviços, as micro e pequenas empresas participam com 26% e as médias com 6%.

O **Gráfico 2** apresenta a distribuição do número de trabalhadores nas micro, pequenas e médias empresas formais, segundo o setor de atividade.



**Gráfico 2 – Trabalhadores nas MPE e médias empresas, segundo setor de atividade.
Dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS 2001 - MTE**

De acordo com os dados do Sebrae (2003), as micro, pequenas e médias empresas constituem 90% dos estabelecimentos econômicos e detêm de 60% a 70% dos empregos nos países que compõem a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento na Europa (OCDE). No Brasil, o critério mais utilizado para classificação das pequenas e médias empresas é o critério do Serviço Brasileiro de Apoio às Pequenas e Médias Empresas (Sebrae) que mensura o porte das empresas a partir do número de empregados, conforme **Quadro 1**.

Quadro 1 –Classificação das empresas segundo o número de empregados (Sebrae, 2003).

PORTE	EMPREGADOS
Micro empresa	No comércio e serviços até 09 empregados Na indústria até 19 empregados
Empresa de Pequeno Porte	No comércio e serviços de 10 a 49 empregados Na indústria de 20 a 99 empregados
Empresa de Médio Porte	No comércio e serviços de 50 a 99 empregados Na indústria de 100 a 499 empregados
Empresa de Grande Porte	No comércio e serviços mais de 99 empregados Na indústria mais de 499 empregados

Já o Estatuto das Micro e Pequena Empresas - Lei Federal no. 9.841, de 05 de outubro de 1999, usa outro critério, considera micro empresa a pessoa jurídica e a firma mercantil individual que tiver receita bruta anual igual ou inferior a R\$ 244.000,00 (duzentos e quarenta e quatro mil reais); e a empresa de pequeno porte, aquela tiver receita bruta anual superior a R\$ 244.000,00 (duzentos e quarenta e quatro mil reais) e igual ou inferior a R\$ 1.200.000,00 (um milhão e duzentos mil reais).

Um aspecto das micro e pequenas empresas que vem ganhando espaço nos estudos acadêmicos referem-se à sua mortalidade.

Pesquisa sobre este tema, realizada com 1.750 empresas acompanhadas por cinco anos e divulgado pelo Sebrae de São Paulo em 1999, revela que 71% encerram suas atividades antes de concluírem os quatro anos de vida. A falta de planejamento prévio, gestão ineficiente e a pouca adaptação dos serviços e produtos as necessidades do mercado, constituem as principais causas de falência, dados suficientes para concluir-se que as micro e pequenas

empresas precisam focar no que elas têm de melhor, ou seja, flexibilidade e rapidez de adaptação às demandas do mercado (LA ROVERE, 1999).

Quanto à inovação, a heterogeneidade do universo destas empresas torna difícil a implementação de políticas a elas destinadas, mesmo tendo em seu ambiente interno uma maior motivação dos empregados em desenvolver a produtividade e a competitividade através de inovações (JULIEN, 1993), (OECD, 1995).

As micro e pequenas empresas, não têm necessariamente, um potencial inovador maior do que as grandes empresas, pois tem menor acesso a informações tecnológicas e encontram dificuldade em estabelecer parcerias com fornecedores fazendo com que a compra de matéria prima em menor escala, as torne menos propensas à inovação (OECD, 1995).

Estudos realizados em países em desenvolvimento mostram que as MPE que se localizam em clusters têm mais chances de sobrevivência e de crescimento do que empresas similares isoladas (LEVISTKY, 1996).

1.5.2 – Clusters, sua definição segundo o Projeto Cresce Minas

O agrupamento de empresas em uma determinada região formando clusters ou Arranjos Produtivos Locais (APL) para tirar proveito da infra-estrutura local, da mão de obra já treinada, da existência de recursos naturais, de informações sobre novas técnicas de produção, proximidade entre fornecedores e consumidores dentre outros benefícios não é novo, Marshall (1920) já mencionava a instalação de pequenas e médias empresas ao redor de grandes indústrias nos subúrbios de cidades inglesas.

No Brasil, os clusters também chamados de APL ou arranjo produtivo local são criados também a partir de políticas de desenvolvimento regionais onde se diminuiu e até mesmo isentaram-se de impostos as empresas que migraram para estes pólos.

Carrie (1999) defende os clusters como a base do futuro para a competição incluindo no seu escopo diversos fatores relevantes dentre eles o relacionamento entre clientes e fornecedores de materiais e componentes.

Clusters caracterizam-se por aglomerações setoriais e espaciais de empresas (SCHMITZ & NADVI, 1999), enquanto que as alianças estratégicas são realizadas por empresas de uma cadeia produtiva que podem estar dispersas geograficamente.

Redes de empresas constituídas por empresas pertencentes a um cluster, podem ser hierarquizadas ou não (GAROFOLI, 1993). A natureza dos laços hierárquicos é quem irá definir a forma da cooperação entre as empresas.

Uma rede hierarquizada excessivamente rígida pode inibir o crescimento das MPE, ao tornar o desempenho destas empresas dependente da firma dominante.

Conforme observado por Bell e Albu (1998), o que deve ser enfatizado na análise do desenvolvimento tecnológico e do crescimento de um cluster não é o seu sistema produtivo, e sim o seu sistema de conhecimento, definido como “os fluxos de conhecimento, os estoques de conhecimentos e os sistemas organizacionais envolvidos em gerar e administrar mudanças nos produtos, nos processos e na organização da produção”.

Assim, a natureza do sistema de conhecimento das firmas de um cluster irá condicionar sua capacidade inovadora e suas possibilidades de crescimento.

Portanto, observamos que a existência de clusters por si só não garante o dinamismo tecnológico das firmas nela situados (BELL E ALBU, 1998), e nem sempre garante o estabelecimento de laços de cooperação visando um aumento de competitividade.

Segundo Porter (1998), *clusters* são concentrações geográficas de organizações e instituições de um certo setor, abrangendo uma rede de indústrias inter-relacionadas e outras entidades importantes para a competitividade.

Eles incluem, por exemplo, suprimentos de insumos especializados, tais como componentes, maquinário e serviços, e fornecedores de infra-estrutura especializada. Muitas vezes, também, os *clusters* permeiam os canais de distribuição e os consumidores, envolvendo paralelamente os fabricantes de produtos complementares e organizações responsáveis por normas técnicas, tecnologia ou insumos comuns. Porter (1998) também afirma que muitos *clusters* incluem instituições governamentais e outras universidades, institutos de normas técnicas, celeiros de idéias, empresas de treinamento e as associações comerciais que provêm treinamento, educação, informação, pesquisa e suporte técnico especializado. Haddad (1999) afirma que *clusters* consistem de indústrias e instituições que têm ligações particularmente fortes entre si, tanto horizontalmente quanto verticalmente, e, usualmente, incluem: empresas de produção especializada; empresas fornecedoras; empresas prestadoras de serviços; instituições de pesquisas; instituições públicas e privadas de suporte fundamental.

Segundo o Projeto Cresce Minas, pode-se definir um *cluster* como um conjunto de empresas e entidades que interagem, gerando e capturando sinergias, com potencial de atingir crescimento competitivo contínuo superior ao de uma simples aglomeração econômica. Nele as empresas estão geograficamente próximas uma das outras e pertencem à cadeia de valor de um setor industrial. Essa interação das empresas gera, entre outros benefícios, redução dos custos operacionais e dos riscos apresentados, aumento da qualidade dos produtos e serviços, o acesso à mão-de-obra mais qualificada, atração de capital, criação de empreendedores e melhor qualidade de vida.

Estas são características e razões importantes para a integração num contexto de elevada competição e rápidas mudanças. Mas outros aspectos e benefícios indiretos podem ser citados:

- Preservação de conhecimento do sistema,
- Maior robustez em face de situações de ineficiência pontual,
- Coordenação de atividades e gestão mais otimizada,
- Suporte ao custeio e orçamentos. A necessidade da integração de sistemas pode

ser encontrada em vários níveis (*figura 1*):

- Nível célula – quando recursos básicos (robôs, máquinas ferramentas, transportadores, etc.) e respectivos controladores locais necessitam ser integrados para formar uma célula dedicada a uma função ou conjunto de funções específicas (montagem, pintura, inspeção, etc.).
- Nível planta fabril – quando várias células e subsistemas de transporte e armazenamento são integrados num sistema físico de manufatura.
- Nível intra-empresa – quando consideram se todas as áreas da empresa, incluindo a planta fabril mas também o marketing, o planejamento, o projeto, etc. e suas interações.
- Nível inter empresa – quando considera se a manufatura numa perspectiva de colaboração entre várias empresas. O processo produtivo não é mais assegurado na sua totalidade por empresas isoladas. Pelo contrário, numa rede de empresas (empresa virtual), cada nó contribui com uma parcela para a cadeia de valor. A materialização deste paradigma requer a definição duma arquitetura de referência para a cooperação e o desenvolvimento de infra-estruturas abertas de suporte assim como os respectivos protocolos de comunicação e cooperação.

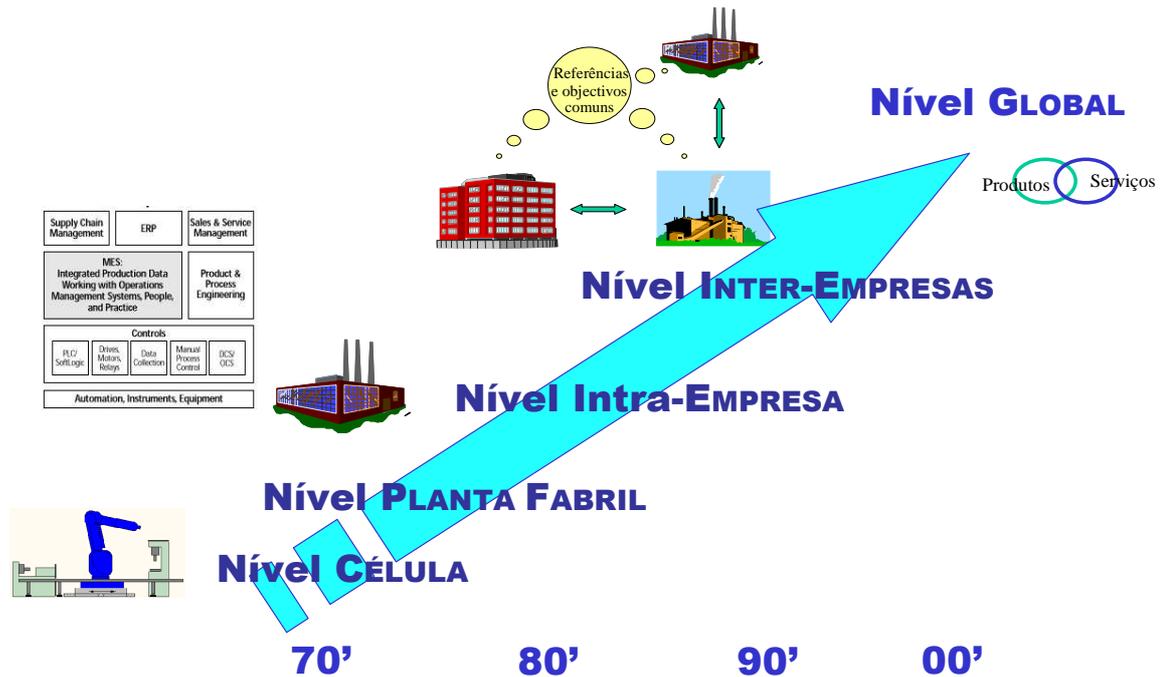


Figura 1 - Níveis de integração de sistemas de manufatura

1.5.3 - Fatores competitivos

Slack (1993) mencionou em seu trabalho cinco elementos básicos de competitividade enfatizando a necessidade de se produzir ao menor custo possível, no menor tempo possível, produtos com qualidade, confiabilidade e flexibilidade.

Na *figura 2.*, Band (1997) salienta que para a manutenção da competitividade, as empresas precisam:

- Promover vantagens competitivas de longo prazo.
- Estar cada vez mais próximas do fornecedor e do cliente.
- Introduzir na empresa novas formas de parcerias.
- Gerar um ambiente de trabalho voltado para aprendizagem.
- Valorizar o “ser humano”, suas habilidades e conhecimentos.
- Agregar valor aos produtos: qualidade, custo, prazo, serviços adicionais.

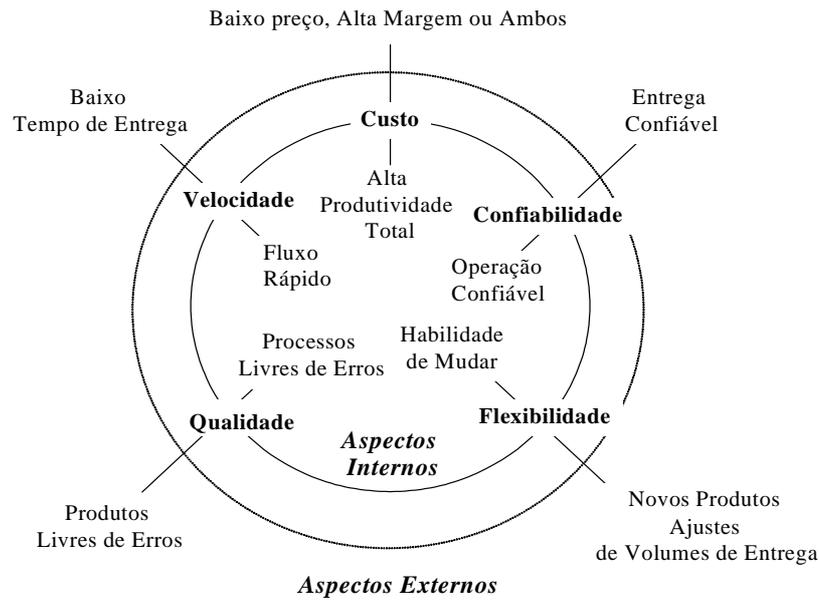


Figura 2- Elementos de Desempenho Slack (1993)

Rosa (1995) também discorreu acerca dos fatores competitivos demonstrados no *Quadro 2*.

Quadro 2 – Descrição dos Elementos de competitividade Porter (1999)

Elementos de desempenho	Definição
Qualidade	Ausência de erros na conformação dos produtos
Velocidade	Pequeno intervalo de tempo entre o início do processo de fabricação e a entrega do produto, redução do lead time da empresa.
Confiabilidade	Entrega do produto no prazo combinado
Flexibilidade	Capacidade da manufatura migrar de uma configuração para outra, estar apto a mudar com rapidez sempre que necessário, ter capacidade de adaptar suas operações por terem sido alteradas as necessidades dos clientes ou por necessidade de modificações nos processos de produção, mudanças nos canais de suprimentos ou qualquer outro fator interno.
Custo	Capacidade de conformar os produtos com custos mais baixos que os dos concorrentes. Seja pela aquisição de matéria prima e recursos mais baratos ou através de processos de transformação mais eficientes. Em outras palavras, baixo preço, alta margem ou ambos significam alta produtividade da organização.

Rosa (1995) cita que os custos são reduzidos quando as operações são feitas com maior velocidade visto que o fluxo de materiais movendo-se rapidamente pelos diferentes estágios do processo despense menos tempo em filas ou em estoques intermediários. Esta agilidade significa então menos despesas indiretas e por conseqüência, previsões mais fáceis.

A habilidade da operação em propiciar fluxo mais rápido é dependente de operações livres de erros.

Percebeu ainda que a qualidade mais alta funciona como um redutor de custos, pois menos erros dentro das operações refletem na redução direta dos refugos, retrabalhos e desperdícios significando menos surpresas na operação e mais confiabilidade interna e externa.

Acerca da confiabilidade, citou-a como decorrente de um fluxo mais rápido, principalmente porque pequenos desvios na programação podem ser mais facilmente acomodados, podendo também reduzir custos caso todas as partes envolvidas; materiais e informações fluam dentro da operação, conforme planejado, eliminando as despesas indiretas com o seguimento de entregas atrasadas e reprogramações.

E quanto à flexibilidade operacional, citou a redução de custos quando da redução dos tempos de setup, reduzindo despesas indiretas, além de incrementar a confiabilidade interna, permitindo a opção por roteiros alternativos de processo de forma a evitar indisponibilidades inevitáveis de máquinas reduzindo custos.

Em recente pesquisa tipo Likert feita por Lau (2002), junto a gerentes de produção de 382 empresas de computadores e de eletrônica dos Estados Unidos, atribuiu-se notas de 1 a 7 para Fatores competitivos menos importantes e mais importantes conforme a **tabela 2**.

Constata-se na pesquisa a presença de nove fatores competitivos e não mais 5 como mencionado por Slack, demonstrando perfeitamente que com o passar dos anos, os fatores competitivos impostos às empresas tem se ampliado.

Fator Competitivo	Média alcançada ($\eta=382$)		Computadores ($\eta= 131$)		Eletrônicas ($\eta=251$)	
	Média	Colocação	Média	Colocação	Média	Colocação
Alta qualidade do produto	5,90	1	6,02	1	5,84	1
Baixo custo de produção	5,58	2	5,44	4	5,66	2
Melhor relacionamento com fornecedores	5,58	3	5,76	2	5,49	5
Aumento da capacitação dos empregados	5,49	4	5,26	6	5,61	4
Menor tempo de produção	5,46	5	5,15	7	5,62	3
Maior flexibilidade de produção	5,34	6	5,31	5	5,36	6
Projetos e design mais inovadores	5,10	7	5,50	3	4,90	7
Uso de automatização e avançadas tecnologias de manufatura (AMT)	4,66	8	4,35	9	4,82	8
Estrutura organizacional mais enxuta	4,48	9	4,58	8	4,42	9

Tabela 2 – Valores médios atribuídos aos fatores competitivos: Lau, (2002).

O resultado obtido demonstrou que a qualidade ainda é o fator de competitividade mais valorizado, seguido de perto pelo baixo custo de produção e um melhor relacionamento com os fornecedores.

Demonstrou também que fatores competitivos citados por Slack (1993) foram considerados menos importantes do que novos fatores competitivos apresentados.

Um exemplo para isso que pode ser citado com base nos dados obtidos é o fato de encontrarmos a flexibilidade da produção em sexto lugar, atrás de novos fatores como o relacionamento com fornecedores e o aumento da capacitação dos empregados.

Com base nestas constatações, decidiu-se rever o ciclo dos cinco elementos básicos de competitividade mencionados por Slack (1993), contemplando ainda seu caráter de

interdependência, ou seja, ressaltando o fato de não se poder privilegiar este ou aquele fator em detrimento de outro(s) alterações demonstradas na **figura 3**.

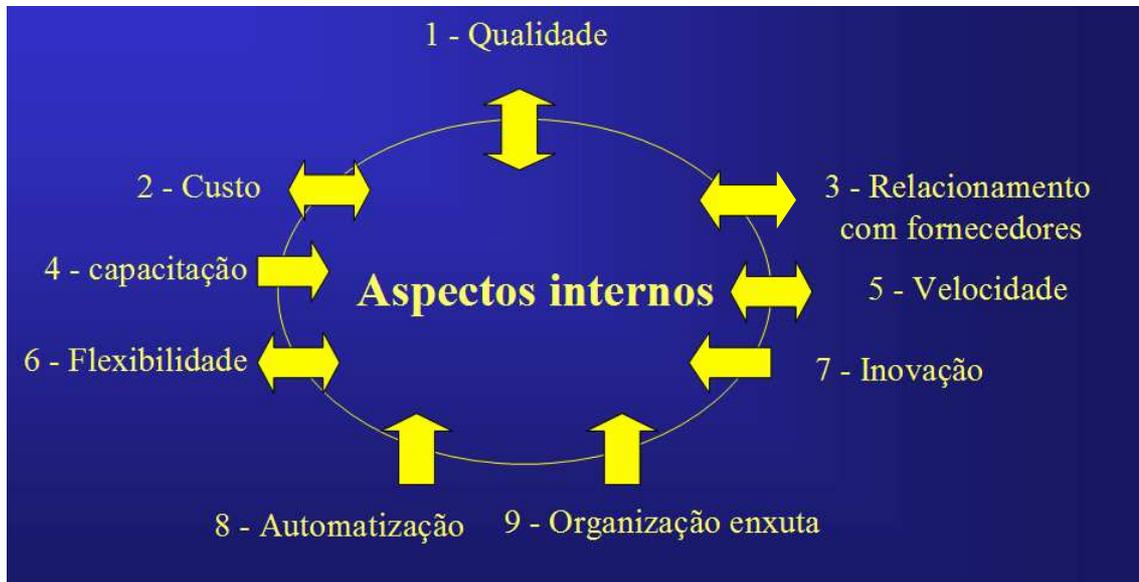


Figura 3 – Interdependência dos fatores competitivos Lau (2002).

1.5.4 – A necessidade de controle de fornecedores.

Decidir quantos fornecedores utilizar não é uma tarefa fácil, deve-se levar em consideração diversos fatores que podem influenciar no fornecimento podendo causar prejuízos à produção e por conseqüência à competitividade das empresas. Catástrofes devem ser levadas em consideração conforme mencionado por Berger *et al* (2004), a própria localização geográfica do fornecedor pode ser um fator de interrupção de fornecimento no caso de um terremoto, furacão, incêndio, enchentes, atentado terrorista e outros.

Já o aumento do número de fornecedores prejudica a confiabilidade da matéria prima visto que nem sempre consegue se garantir a procedência do que se compra principalmente quando prioriza se o preço no ato da compra.

Nas *figuras 4 e 5* mostra-se uma evidencia de falsificação de componentes do fabricante Philips, no caso, um capacitor que apresentou falha durante o processo produtivo de uma empresa localizada em Santa Rita do Sapucaí e que foi enviado para análise de discrepância no fabricante.

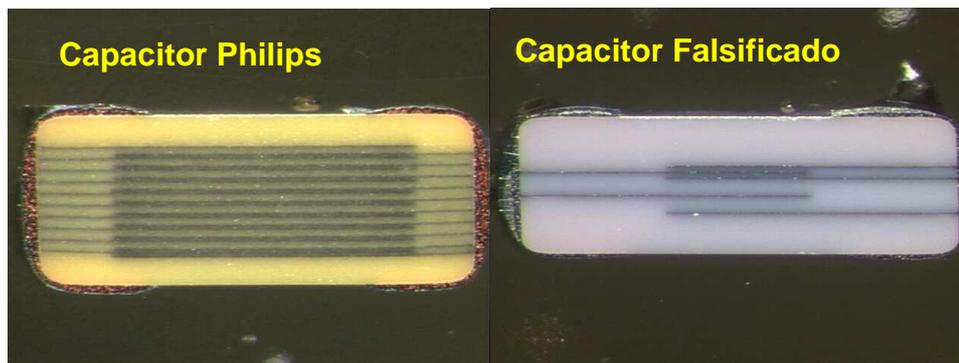


Figura 4 Capacitor Original e Figura 5– Capacitor falsificado

1.5.5 – Modelo atual de compra de componentes eletrônicos

Na *figura 6*, demonstram-se possibilidades de compra de componentes eletrônicos encontradas pelas micro e pequenas empresas de Santa Rita do Sapucaí e das indústrias eletrônicas do Brasil, descartando-se pela sua quase inexistência, a possibilidade de compra de componentes direta de fabricantes nacionais.

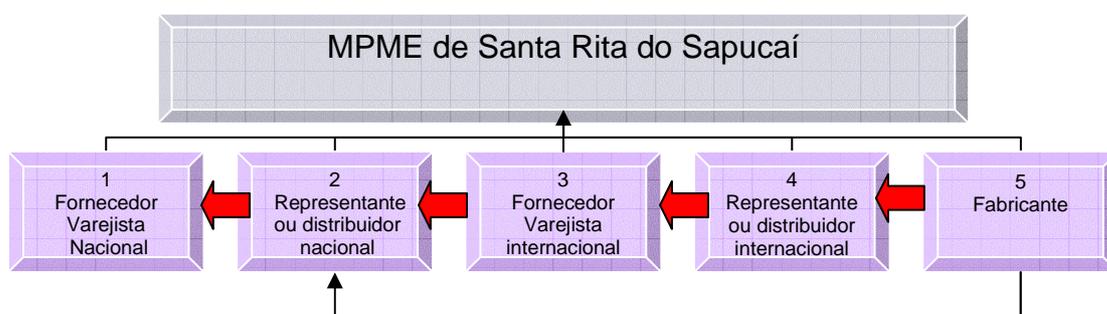


Figura 6 – Possibilidades para aquisição de componentes eletrônicos descartando-se a possibilidade de compra de componentes de fabricantes nacionais.

Os fornecedores varejistas nacionais possuem os seguintes pontos considerados fortes para sua utilização:

Facilidade de compra

Basta consultar catálogos telefônicos ou a Internet para se ter os componentes desejados. O meio mais fácil de compra.

Rápida disponibilidade

Pedidos podem ser entregues no mesmo dia ou devido à urgência, pode se buscar diretamente nas lojas. Matéria prima de prateleira.

Porém possuem também os seguintes fatores que podem ser considerados Pontos Fracos para sua utilização:

Preço

É geralmente o meio mais caro de compra, pois paga se o preço da disponibilidade. Os varejistas geralmente trabalham com altas margens de lucro sobre pequenos lotes disponibilizados em prateleira.

Confiabilidade comprometida

É difícil garantir a procedência do que se compra em varejistas, certificados de qualidade não fazem parte do negócio, etiquetas em componentes ou rolos não garantem nada.

Quase inexistência de parcerias para o fornecimento.

Neste tipo de compra, é muito difícil o estabelecimento de qualquer forma de parceria para a programação da compra dos componentes. Geralmente, adquire se o componente desejado na loja onde existe a sua disponibilidade pelo menor preço.

Verificamos no representante ou distribuidor nacional algumas vantagens em relação ao varejista:

Confiabilidade

A procedência do que se compra em representantes ou distribuidores nacionais é geralmente garantida por certificados de qualidade e homologações dos fornecedores efetuadas pelos próprios fabricantes. Diversos representantes e varejistas possuem certificação de qualidade ISO.

Facilidade de compra

Não se pode citar dificuldade de compra para este tipo de operação, geralmente recebe-se os componentes desejados com uma simples ligação ou consulta via Internet.

Parcerias no desenvolvimento de novos produtos

Existe a facilidade de consulta ao fabricante via representante comercial ou de aplicações no esclarecimento de dúvidas funcionais e novas soluções tecnológicas.

Programação de fornecimento

Pode-se programar a compra com distribuidores e representantes nacionais, porém erros nas previsões deste tipo de operação podem causar prejuízos em longo prazo.

Percebemos também uma redução de pontos considerados fracos à sua utilização em relação ao fornecedor varejista nacional:

Indisponibilidade no caso de aumento de consumo ou necessidade imediata.

No caso de aumento de consumo ou necessidade imediata de componentes, as empresas geralmente encontram dificuldades de compra face ao baixo volume de estoque dos representantes e distribuidores nacionais. Neste caso, normalmente são fixados prazos que contam com o lead-time da fábrica, desembaraço de importação e logística ou no caso de disponibilidade em outro representante ou distribuidor internacional, com o tempo de importação, desembaraço e logística. Estes prazos são geralmente impraticáveis fazendo com que as empresas sejam obrigadas a comprar dos varejistas nacionais.

Pequeno número de representantes

Diversos fabricantes não possuem representantes no Brasil restringindo assim a tecnologia empregada nos produtos desenvolvidos pelas MPE que se restringem ao mercado nacional, podendo sofrer com isso uma perda de competitividade em face de concorrentes com capacidade de importação.

Preço

A falta de concorrência e os custos operacionais dos representantes e fornecedores fazem com que os preços por eles praticados sejam geralmente maiores do que os conseguidos na importação direta.

Os fornecedores varejistas internacionais apresentam apenas a vantagem do preço menor em relação ao varejista nacional, porém quanto à confiabilidade, votamos a ter as mesmas incertezas que parecem inerentes aos varejistas de componentes:

Os representantes ou distribuidores internacionais também tem vantagens relacionadas a preço em relação aos representantes nacionais porém como pontos fracos podemos citar:

Qualidade do atendimento

Infelizmente uma barreira a ser vencida. Devido à falta de componentes no mercado mundial, muitos representantes internacionais não demonstram interesse algum em efetuar vendas a pequenas e médias empresas face ao volume envolvido. Para eles é preferível e mais confortável administrar alguns grandes compradores do que diversos pequenos compradores.

Prazos de entrega

Os prazos de entrega geralmente envolvem lead time da fábrica, logística e desembaraço. O normal é que não seja inferior a 60 dias para entrega marítima e 40 dias para entrega aérea. Estes prazos levam o fabricante nacional à não contar com estes fornecedores no caso de necessidade imediata. Compras urgentes são conseguidas com substancial aumento no custo envolvido.

Difícil participação no desenvolvimento de novos produtos.

O relacionamento é geralmente mais frio do que o relacionamento com representantes nacionais, devido à falta de componentes no mercado mundial, muitos representantes internacionais não demonstram interesse algum em efetuar vendas a pequenas e médias empresas face ao volume envolvido. Para eles é preferível e mais confortável administrar alguns grandes compradores do que diversos pequenos compradores e com isso o relacionamento para desenvolvimento de novos produtos é quase nulo.

Estrutura requerida

Este tipo de compra requer uma maior estrutura da empresa importadora, pois requer uma grande mão de obra da empresa no tocante a acompanhamento de prazos e desembaraço das mercadorias. O custo desta estrutura dependendo do tamanho da empresa torna impraticável esta modalidade de compra.

Já a compra direta dos fabricantes possui diversas vantagens relacionadas à confiabilidade, envolvimento no desenvolvimento de novos produtos, prazos de entrega e preço, porém como desvantagens a este sistema, encontramos:

Disponibilidade imediata

Atualmente a procura por componentes é muito maior do que a oferta no mercado mundial, tornando muito difícil a existência de compras imediatas. Outro fator negativo no tocante a disponibilidade imediata é à distância. Poucos são os fabricantes instalados no Brasil, o que faz com que os prazos para aquisição de componentes limitem-se na melhor das hipóteses aos prazos da transportadora disponível.

Necessidade de volume mínimo de compra

Geralmente, para que haja compra direta de um fabricante, uma imposição dada ao comprador é a quantidade mínima de compra, pois de acordo com os fabricantes, não vale a

pena rodar um lote de componentes para atender a pequenas quantidades, pois deve se levar em conta os tempos de setup das máquinas.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica

Neste capítulo, procura-se apresentar de forma consistente, os conceitos desenvolvidos nesta dissertação. Inicia-se com uma visão geral acerca da logística integrada passando pelo conceito da gestão da cadeia de suprimentos, roteamento e por fim alguns algoritmos utilizados no roteamento de veículos, procurando demonstrar suas vantagens e limitações.

2.1 – Logística integrada.

Diferentes autores atribuem diferentes origens à palavra logística. Alguns afirmam que ela vem do verbo francês “loger” acomodar, alojar. Outros acreditam que ela é derivada da palavra grega “logos” razão e que significa “a arte de calcular” ou “a manipulação dos detalhes de uma operação”.

Sua utilização mais clássica relaciona-a a estratégia de guerra e refere-se ao planejamento e à realização de todas as ações necessárias ao atendimento das metas estratégicas. Isto pode incluir: armazenamento e transporte de materiais, recrutamento e capacitação de pessoal, construção e manutenção e prestação de serviços diversos.

Uma das definições mais difundidas de logística é a do Council of Logistics Management (2004), segundo a qual logística é:

O processo de planejar, implementar e controlar com eficiência e a um custo correto, o fluxo e a armazenagem de matérias-primas, estoques durante a produção e produtos acabados, e as informações relativas a estas atividades, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender aos requisitos do cliente.

O conceito de logística argumentado por Ballou (2001), de “colocar o produto certo, na hora certa, no local certo e ao menor custo possível”. Apesar de ser um conceito genérico, reflete de forma clara a abrangência e o objetivo da logística.

Segundo Lambert (2003), “o conceito de gerenciamento integrado de logística se refere à administração das várias atividades como um sistema integrado”.

No nível estratégico, a atividade logística relaciona-se a buscar ótimos sistêmicos no sistema de valores. Envolve, portanto, a negociação com fornecedores, clientes e concorrentes para o estabelecimento de consórcios, alianças estratégicas e parcerias.

Gattorna e Walters (1996) ressaltam o papel estratégico da logística, definindo-a da seguinte forma:

Logística é um componente da gestão estratégica. Ela é responsável pela gestão de aquisição, movimentação e estocagem de materiais, componentes e produtos acabados (junto com a respectiva informação), através da organização e seus canais de marketing, para satisfazer os consumidores e alcançar a lucratividade esperada pela empresa.

A logística deve ser vista como o elo entre o mercado e as atividades estratégicas, táticas e operacionais da empresa. Ela deve cuidar da harmonização dos fluxos desde a entrada de matéria-prima até a entrega do produto ao consumidor final. Cabe a ela facilitar as atividades necessárias para a empresa alcançar níveis satisfatórios de prestação de serviço e qualidade.

Para que esta integração ocorra, é necessário unir a demanda à oferta. Para isso, as áreas de produção e marketing devem trabalhar juntas. A função marketing, voltada ao consumidor, busca compreender e satisfazer as necessidades dos consumidores.

A gestão dos processos produtivos busca colaborar para o estabelecimento da vantagem competitiva em custos, qualidade, etc. A logística une estas duas pontas e orquestra as atividades de apoio – movimentação, transporte, administração de materiais, compras, distribuição, etc.

Segundo Bowersox e Closs (1996), o desafio da logística é tornar-se uma “competência essencial” nas empresas. Isto envolve a gestão das cadeias física e virtual de valores. Na prática, a palavra logística ganhou diferentes significados, correspondendo a uma crescente amplitude de escopo.

O **Quadro 3** mostra a evolução histórica do conceito de logística. Esta evolução relaciona-se à sofisticação da gestão das empresas.

Quadro 3 – Evolução do conceito de logística

fases	fase zero	primeira fase	segunda fase	terceira fase	quarta fase
perspectiva dominante	Administração de materiais	Administração de materiais + Distribuição	Logística	Supply chain management	Logística integrada ou estratégica (Supply chain management + Efficient consumer response)
focos	<ul style="list-style-type: none"> gestão de estoques gestão de compras movimentação de materiais 	<ul style="list-style-type: none"> otimização do sistema de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> visão sistêmica da empresa integração através de sistema de informações 	<ul style="list-style-type: none"> visão sistêmica da empresa e seus elos mais próximos (inclui fornecedores e distribuidores) 	<ul style="list-style-type: none"> amplo uso de alianças estratégicas, co-makership, subcontratação e canais alternativos de distribuição

2.2 - O conceito de gestão da cadeia de suprimentos

A literatura sobre organizações possui diversas referências sobre cadeias produtivas, centrando muitas vezes sua discussão em temas como networks, e-commerce, clusters, supply chain management entre outros. Strati (1995) diz que as organizações estão deixando de ser

sistemas relativamente fechados para transformar se em sistemas cada vez mais abertos e em muitos casos a empresa confunde se com o ambiente, misturando fornecedores e clientes.

Lambert *et al* (1998) entende que o SCM pode ser considerado uma tentativa de estabelecer um corte transversal das fronteiras organizacionais visando viabilizar a gestão de processos entre corporações, e advertem quanto ao desafio de gerenciar se uma cadeia de suprimentos, como sendo muito mais fácil escrever definições sobre esses processos do que implementá-los.

Interessante a observação feita por Fleury (1999) quanto à relevância da logística integrada e do Supply Chain Management (SCM):

Num ambiente cada vez mais competitivo, a pressão do mercado por uma crescente variedade de produtos e por melhores níveis de serviço ao menor custo possível, a tendência à especialização e a evolução cada vez mais rápida das tecnologias de informação e de telecomunicações têm feito com que a logística integrada e o SCM estejam cada vez mais presentes na agenda das empresas de todo o mundo ”

A expressão ‘cadeia de suprimento’ de acordo com Giannakis (2001) é uma metáfora usada para descrever as empresas que estão envolvidas no fornecimento de um produto ou serviço. Conforme . COX *et al* (2001):

O conceito de cadeia de suprimento é relativamente novo no pensamento da administração de empresas. Seu desenvolvimento deve-se à constatação, nos anos de 1970 e de 1980, de que os fabricantes japoneses de automóveis administravam o fornecimento de insumos além dos simples relacionamentos contratuais com os fornecedores diretos.

Para Giannakis (2001), contudo:

As origens do conceito de gestão de cadeia de suprimentos são nebulosas, mas seus fundamentos teóricos podem ser encontrados na teoria de sistemas discutida em textos de logística ou ao longo das linhas de pensamento relativas à distribuição física onde distribuidores e varejistas esforçam-se para adquirir matérias primas, converter estas matérias-primas em determinados produtos finais e oferecer estes produtos nos pontos de venda.

O Council of Logistics Management (2004) definiu o SCM da seguinte forma:

Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos é a coordenação estratégica e sistêmica das funções de negócios tradicionais bem como as ações táticas que perpassam essas funções numa companhia e através de negócios dentro da cadeia logística com o propósito de aprimorar a performance de longo prazo das companhias individualmente e da cadeia de suprimento como um todo.

A gestão da cadeia de suprimentos pode também ser considerada como a realização prática dos conceitos de logística integrada, ou ainda uma metodologia empregada principalmente por empresas de consultoria que envolve os seguintes aspectos:

- A adoção de práticas de *global sourcing*;
- Parcerias com fornecedores;
- Sincronização da produção;
- Redução de estoques em toda a cadeia;
- Revisão do sistema de distribuição;
- Parcerias com distribuidores;
- Melhoria do sistema de informação;

A cadeia de suprimentos opera em looping. Ela começa com o consumidor e acaba no consumidor e exige que se pense o negócio como um processo contínuo ou seja, pelo looping fluem todos os materiais e produtos acabados, todas as informações e transações.

A gestão da cadeia de suprimentos não pode ser confundida com a integração vertical. A integração vertical implica a participação de uma empresa em vários níveis da cadeia produtiva. Na gestão da cadeia de suprimentos, cada empresa se concentra apenas em sua competência essencial. Foca o que a diferencia das demais, o que confere vantagem competitiva.

Apesar de alguns profissionais considerarem o Supply Chain Management simplesmente como uma extensão da logística integrada para o ambiente externo às fronteiras organizacionais, englobando clientes e fornecedores da cadeia de suprimentos.

Christopher (1999) amplia o conceito, considerando que “a logística empresarial abrange as áreas que tratam diretamente com o fluxo de beneficiamento das matérias primas em produtos acabados, tanto no aspecto interno de uma organização empresarial quanto no aspecto externo, envolvendo todos os fornecedores de matérias primas e partes que compõem um produto, até o ponto de ocorrência da demanda deste produto pelo consumidor final”.

Para Fleury e Wanke (2000) a integração externa, outra das dimensões de excelência logística, significa desenvolver relacionamentos cooperativos com os diversos participantes da cadeia de suprimentos, baseados na confiança, capacitação técnica e troca de informações.

A integração externa permite eliminar duplicidades, reduzir custos, acelerar o aprendizado e customizar serviços.

Cox *et al* (2001) afirmam que uma cadeia de suprimento pode ser descrita como:

Rede ampliada de relacionamentos diádicos, de permuta que devem existir para a criação de qualquer produto ou serviço que é fornecido a um cliente final. Para que um produto ou serviço seja fornecido para um cliente, ele deve começar como matéria-prima de alguma espécie e então passar por uma série de estágios de permuta entre compradores e fornecedores.

Em cada estágio deve ocorrer alguma forma de transformação, ou intermediação, destinada a agregar valor ao produto ou serviço como percebido pelo comprador naquele estágio e, em última instância, pelo cliente final.

Os conceitos de cadeia de suprimento de Beamon (1999) e de Cox *et al.* (2001) são conceitos descritivos. Aquele peca por referir se às cadeias de suprimento como elas o são no atual cenário econômico, nada dizendo, contudo, sobre porque são assim. Este peca por admitir o pressuposto de que uma cadeia de suprimento envolve uma série de estágios de permuta entre clientes e fornecedores.

Para que um conceito descritivo de cadeia de suprimento seja geral e livre de pressupostos, é mais adequado dizer que uma cadeia de suprimento é representada por uma concatenação lógica de atividades diferenciadas e complementares, necessárias para que um produto ou serviço seja criado, elaborado e colocado ao alcance de um cliente final.

Este conceito descritivo refere-se a uma concatenação de atividades físicas. A cadeia de suprimento típica para um produto de consumo, por exemplo, será descrita em termos de fluxo de materiais, constituída pelas seguintes atividades básicas:

- Obtenção de matéria primas.
- Transformação da matéria prima em produto acabado
- Distribuição do produto acabado para os pontos de venda no atacado

Nesta seqüência de atividades não estão mencionados os fluxos de informações que definem a dinâmica da cadeia de suprimentos.

O conceito descritivo de cadeia de suprimento ora enunciado deixa aberta à possibilidade de analisar a concatenação lógica de atividades ocorrendo dentro de uma única empresa ou numa rede de empresas independentes.

Embora necessário, um conceito descritivo de cadeia de suprimento não é suficiente para permitir análises do paradigma de produção em massa em confronto com o paradigma de redes de empresas interdependentes.

Estas análises exigem um conceito analítico de cadeia de suprimento no qual esteja presente o objetivo econômico determinante da atividade empresarial, o da exploração pacífica de oportunidades de lucro proporcionadas por um mercado.

Nos últimos anos, um dos pilares do SCM no mundo industrial tem sido o processo de reestruturação e consolidação da base de fornecedores e clientes. Basicamente, esse processo seleciona e aprofunda as relações com um conjunto seletivo de fornecedores e clientes com os quais se deseja estabelecer parceria.

Assim, nesse processo, são decididos quais relacionamentos entre consumidores, fornecedores e provedores de serviços são mais ou menos importantes na otimização do SCM (COLLINS ET AL, 1997).

Segundo Pires (1998) esse processo pode ser dividido em duas etapas básicas de transformação e melhoria do SCM: a reestruturação e a consolidação.

Por reestruturação entende-se a simplificação da cadeia de suprimentos, com o objetivo de melhorar principalmente a sua eficiência.

A questão básica dessa etapa é com que a empresa pretende construir parcerias e simplificar processos de comunicação.

Na maioria das vezes, a reestruturação acaba incorrendo na redução do número de fornecedores e eventualmente no número de clientes.

Um exemplo dessa situação, menos comum é a solicitação de algumas empresas para que pequenos clientes comprem por meio de distribuidores e não diretamente, reduzindo o número de clientes diretos e os custos decorrentes de tal prática.

Já a consolidação consiste no aprofundamento e no estreitamento das relações de parceria e canais de comunicação com a base de fornecedores e clientes após reestruturação. Contudo, o sucesso desta etapa requer postura de confiança, cooperação e relação ganha-ganha entre os componentes da cadeia produtiva.

No que tange a formação de parcerias entre as organizações, Cooper & Gardner (1993) indicam cinco pontos importantes no estabelecimento e na consolidação do relacionamento, os quais vão além da reciprocidade. São eles:

- **Assimetria**

Reflete a habilidade de uma organização em exercer poder, influência ou controle sobre a outra.

- **Reciprocidade**

É baseada na mutualidade benéfica em atingir objetivos comuns. Contrária à assimetria, a reciprocidade estabelece relação positiva entre as partes, pois implica cooperação, colaboração e coordenação entre as partes.

- **Eficiência**

Aparece quando há necessidade interna da empresa melhorar a relação custo benefício de algum processo. Sendo assim, ele transferirá para uma outra organização um processo ineficiente.

- **Estabilidade**

Reflete a tentativa de adaptar ou reduzir as incertezas de algum negócio, ou seja, as empresas que utilizam essa razão buscam parcerias que lhe garantam um futuro mais confiável.

- **Legitimidade**

A legitimidade reflete como são justificados os resultados e as atividades de uma empresa. Por exemplo, um negócio com uma grande montadora de automóveis pode ajudar a estabelecer a legitimidade de um pequeno fabricante de autopeças.

2.3 – Roteamento

Apesar das divergências entre diversos autores, o termo *roteamento* de veículos vem sendo utilizado como equivalente ao inglês “*routing*” (ou “*routeing*”) para designar o processo para a determinação de um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento. Assad (1988), menciona a roteirização (outra forma como também tem sido chamado o roteamento) como uma das histórias de grande sucesso da Pesquisa Operacional nas últimas décadas, Segundo Laporte *et al.* (2000) o problema de roteirização de veículos consiste em definir roteiros de veículos que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende.

Cunha (2000) aborda o interesse pela roteirização como fruto da combinação entre a importância cada vez maior, no contexto logístico, dos problemas de roteirização e da complexidade matemática envolvida citando estes dois fatores como a principal razão da busca de novas estratégias de solução que vem sendo observado desde a década de 60.

Quando a definição dos roteiros envolve não só aspectos espaciais ou geográficos, mas também temporais, tais como restrições de horários de atendimento nos pontos a serem visitados, os problemas são então denominados roteirização e programação de veículos (CUNHA, 1997).

2.4 – Algoritmos dos problemas do caminho mais curto.

Seja $G=(X,A)$ um grafo, orientado ou não. É possível associar um comprimento (custo ou peso) a cada um dos elementos de A . Assim, define-se comprimento (custo ou peso) de um caminho (ou cadeia) como a soma dos comprimentos (custos ou pesos) dos arcos (ou arestas) incluídos no referido caminho (ou cadeia).

Considere-se agora um grafo orientado, G . Fixos dois nós, v_i e v_j , haverá, em geral, vários caminhos entre eles. O problema do caminho mais curto, consiste em identificar o caminho de custo menor entre todos os caminhos admissíveis.

As aplicações do problema do caminho mais curto são várias. A função que representa a aresta pode ser baseada em número de ligações, tráfego, atraso, distância física, qualidade dos dados recebidos, custo do canal, ou algum outro fator relevante. Achar o caminho ótimo significa encontrar o caminho com o menor custo entre dois pontos de interesse com relação à função de custo utilizada.

2.4.1 Caixeiro Viajante

O primeiro problema de roteamento a ser estudado foi do caixeiro viajante (no inglês “traveling salesman problem” ou TSP), que consiste em encontrar o roteiro ou seqüência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante que minimize a distância total percorrida e assegure que cada cidade seja visitada exatamente uma vez (TEIXEIRA, 2001).

Desde então, novas restrições vêm sendo incorporadas ao problema do caixeiro viajante, de modo a melhor representar os diferentes tipos de problemas que envolvem roteiros de pessoas e veículos, entre as quais: restrições de horário de atendimento (conhecidas na literatura como janelas de tempo ou janelas horárias); capacidades dos veículos; frota composta de veículos de diferentes tamanhos; duração máxima dos roteiros dos veículos (tempo ou distância); restrições de tipos de veículos que podem atender determinados clientes.

Problemas de roteamento de veículos são muitas vezes definidos como problemas de múltiplos caixeiros viajantes com restrições adicionais de capacidade, além de outras que dependem de cada aplicação.

Problemas do tipo caixeiro viajante também são encontrados em outras áreas que não a logística ou operação de frotas, tais como em linhas de montagem de componentes eletrônicos, onde se busca encontrar, por exemplo, o roteiro de mínima distância para um equipamento cuja tarefa é soldar todos os componentes de uma placa eletrônica. O menor percurso total do equipamento para percorrer todos os pontos da placa está diretamente associado ao desempenho da linha (SOUZA, 1993). Sob a ótica de otimização, os problemas de roteamento de veículos, incluindo o caso particular do caixeiro viajante, pertencem à categoria conhecida como NP-difícil que vem (do inglês “NP-hard”), que significa que possuem ordem de complexidade exponencial. Em outras palavras, o esforço computacional

para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema (dado pelo número de pontos a serem atendidos). A título de ilustração, até hoje não são conhecidas as respectivas soluções ótimas para algumas instâncias de problemas de roteamento com restrições de janelas de tempo com apenas 100 nós, propostos por Solomon (1986) e que vêm sendo utilizadas para a avaliação comparativa de novos algoritmos de solução propostos na literatura (CUNHA, 1997).

Em termos práticos, isto significa que não é possível resolver até a otimização problemas reais pertencentes à classe *NP*-difícil.

Como as estratégias de solução que permitem resolver problemas reais são heurísticas, apoiam-se em abordagens intuitivas, na qual a estrutura particular do problema deve ser considerada e explorada de forma inteligente, para a obtenção de uma solução adequada (CUNHA, 1997).

Exemplo de aplicação do caixeiro viajante

Um vendedor ambulante deve visitar n cidades, uma única vez cada uma, e retornar à cidade de origem. O objetivo é encontrar o caminho mais curto.

O modelo é um grafo não dirigido completo de n vértices

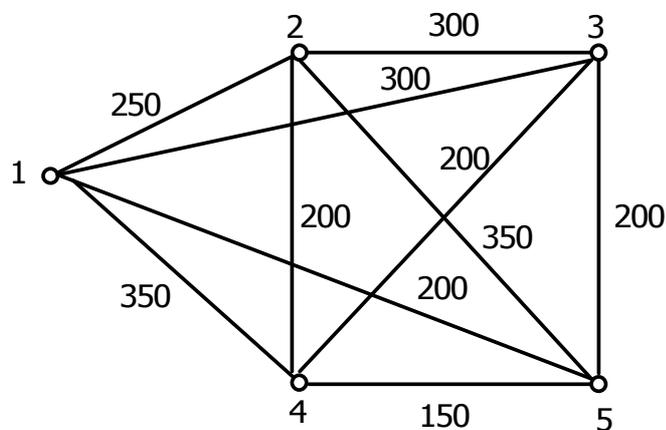


Figura 7 - Rota onde deve-se determinar o menor percurso

Alternativas de solução do problema:

1 Por exaustão:

Enumerar todas as rotas possíveis e calcular a distância percorrida em cada uma delas.

Número de rotas = $(n - 1)!$

$n = 5$ cidades $\Rightarrow 4! = 24$ rotas

$n = 20$ cidades $\Rightarrow 19! = 10^7$ rotas

$n = 50$ cidades $\Rightarrow 49! \Rightarrow ?$

2 Usando uma técnica apropriada:

Todas conhecidas são de dificuldade exponencial. Para instâncias menores pode-se usar um método exato; para instâncias maiores usa-se procedimentos heurísticos.

Com relação às Estratégias de solução heurísticas, elas são por natureza bastante específicas e em geral pouco robustas, pois não conseguem produzir boas soluções para problemas com características, condicionantes ou restrições às vezes um pouco diferentes daquelas para as quais foram desenvolvidas. Em outras palavras, roteirização de veículos é uma área onde uma solução para um determinado tipo de problema, seus dados e condicionantes, pode não ser adequada para outro problema similar, conforme apontado por Hall e Partyka (1997).

A título de ilustração, a heurística de varredura, atribuída equivocadamente a Gillet e Miller (1974), embora proporcione resultados melhores que a heurística de economias (CLARKE E WRIGHT, 1964), para algumas classes de problemas de roteirização, não é tão robusta, uma vez que apresenta um desempenho deficiente na presença de restrições de janelas de tempo apertadas, que prejudicam a lógica intrínseca de agrupamento de clientes baseada exclusivamente na proximidade geográfica (ou geométrica) dos pontos visitados.

2.4.2 – Algoritmo de Ford-Fulkerson

Uma *rede* é um grafo dirigido e sem laços que possui exatamente uma raiz e uma anti-raiz.

Associando a cada aresta \underline{a} da rede um valor $c(\underline{a})$ que corresponde à capacidade da aresta, podemos definir uma função $\emptyset(\underline{a})$ que correspondente ao fluxo da aresta. Esta função satisfaz as seguintes restrições:

Fluxo \emptyset :

1. $\emptyset(\underline{a}) \leq 0$ - fluxo é não negativo em cada arco
2. $\emptyset(\underline{a}) \geq c(\underline{a})$ - fluxo não excede a capacidade do arco
3. O fluxo que entra é o mesmo que sai de um vértice
4. O fluxo que entra na fonte (raiz) é o mesmo que chega ao sumidouro (anti-raiz), que é o fluxo máximo \emptyset_0 da rede

O objetivo é obter o fluxo máximo \emptyset_0 da rede

Algoritmo:

1. Introdz-se um fluxo arbitrário compatível (O fluxo de cada arco não pode exceder a capacidade).
2. Obtém-se um fluxo completo (todos os caminhos contenham pelo menos um arco saturado)
3. Obtém-se o fluxo máximo
 - 3.1. Marca-se a fonte com sinal +
 - 3.2. Um vértice X_i estando marcado:

- a) marcar com + X_i todo vértice X_j não marcado tal que existe um arco (X_i, X_j) não saturado
- b) marcar com - X_i todo vértice X_j não marcado tal que exista um arco (X_j, X_i) percorrido por um fluxo não nulo
- 3.3. Se o fluxo não for máximo, considera-se a seqüência de vértices marcados (+ ou -) indo da fonte ao sumidouro; se um arco desta seqüência é orientado no sentido da seqüência soma-se, em caso contrário subtrai-se uma unidade ao fluxo desse arco;
- 3.4. Apaga-se as marcas e retorna-se ao passo 3.1 até que não seja possível marcar o sumidouro (passo 3.3)

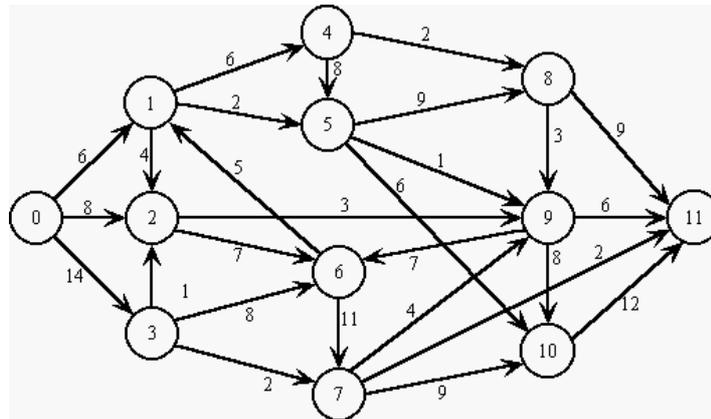


Figura 8 –Passo 1. Uma rede após a introdução de um fluxo arbitrário compatível (passo 1):

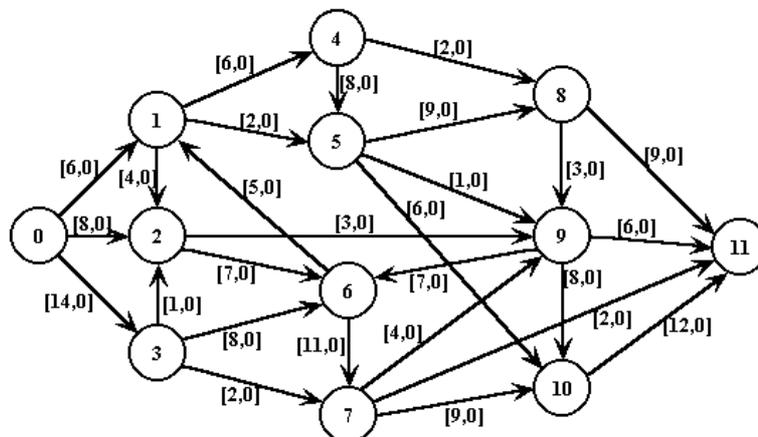


Figura 9 – Passo 2. Uma Rede após computo do fluxo completo (todos os caminhos contenham pelo menos um arco saturado)

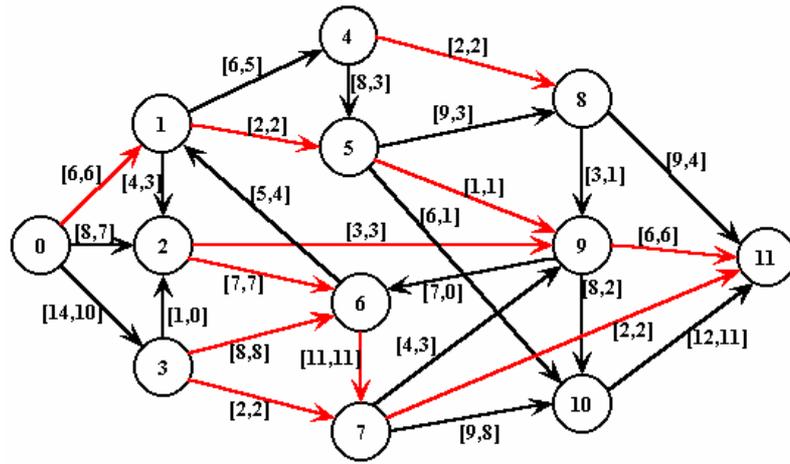


Figura 10 - Passos 3.1 e 3.2. Uma rede após marcações

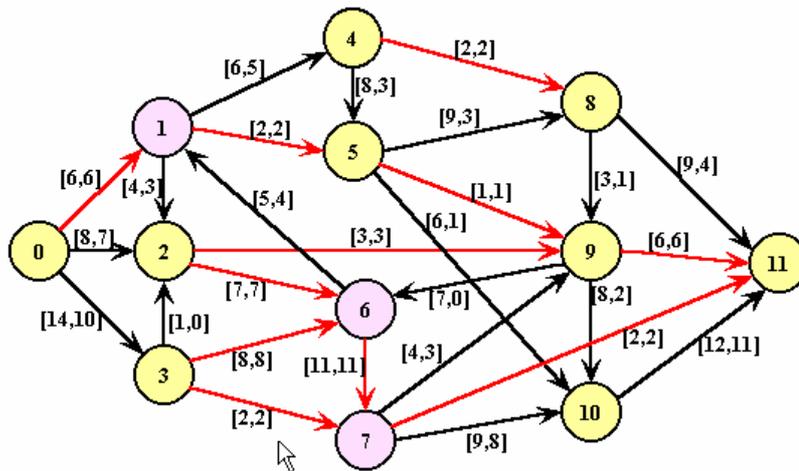


Figura 11 - Passo 3.3. Cômputo da seqüência do caminho que pode ser otimizado

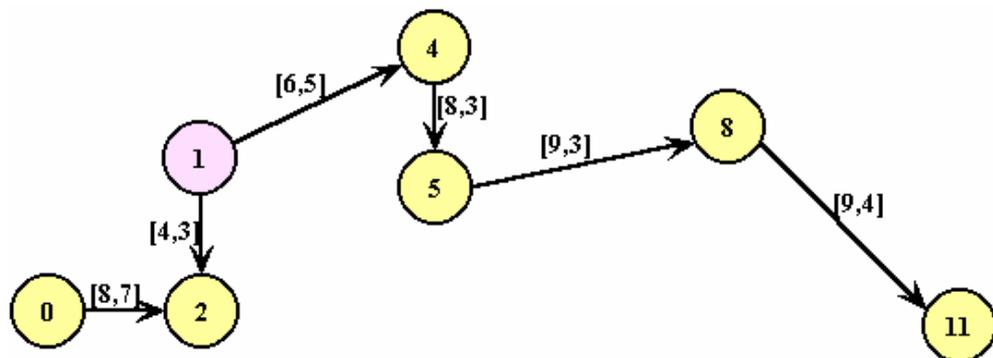


Figura 12 - Passo 3.3. Rede após otimização do caminho anterior

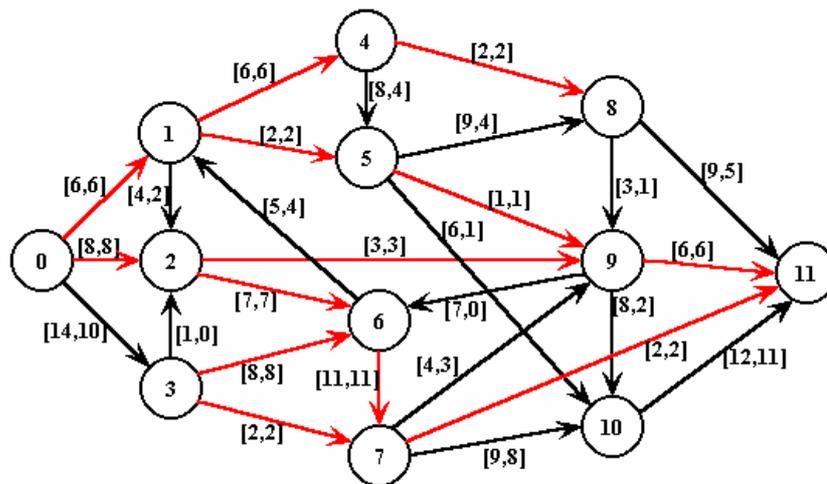


Figura 13 - Passos 3.4, 3.1 e 3.2. Rede após nova tentativa de marcação

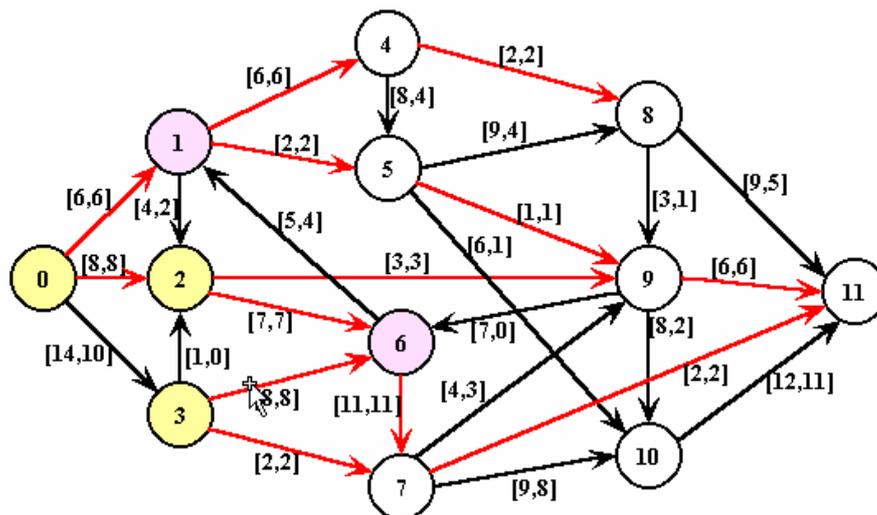


Figura 14 - Como a anti-raiz não foi marcada, o fluxo nesta rede é Maximo.

2.4.3 – Algoritmo de Dijkstra

Consiste em determinar as menores distâncias de um vértice de um grafo até todos os demais vértices do grafo, que representa a indústria e seus distribuidores e varejistas de produtos respectivamente ou seja, determina o caminho mais curto entre dois nós. Seja uma rede construída por nós $(1,2,\dots,n)$. Para cada arco (i,j) existe um número não negativo d_{ij}

chamado de distância, ou tempo de deslocamento, entre nó i e nó j . Se não há maneiras de ir de i para j então $d_{ij} = +\infty$. É possível que $d_{ij} \neq d_{ji}$.

O algoritmo de Dijkstra abaixo é um meio eficiente de resolver problema de menor percurso porém não se pode dizer que seja um método de fácil solução e que pudesse dispensar meios computacionais para sua solução. Por ser um método de determinação do menor percurso, não contempla as quantidades a serem entregues em cada ponto, ou seja, este algoritmo sozinho é insuficiente para atender as necessidades particulares de uma empresa quando do dimensionamento de rotas.

Seja $l(x_i)$ o rótulo do vértice x

Passo 1 Inicialização, onde se atribui custo zero à raiz e infinito aos demais vértices;

Passo 2 Atualização de rótulos onde se fecha o vértice, ainda em aberto, que tiver menor custo;

Passo 3 Compara-se o custo de cada vértice aberto com a soma do custo do último vértice fechado e do custo do arco que une esses vértices; se o custo obtido for menor que o vigente, faz-se a substituição (não existindo o arco, o custo será infinito);

Passo 4 Repete-se os passos 2, 3 até que tenham sido executadas n vezes. portanto, se x_i é raiz e o vértice x_j foi fechado na $(k-1)$ ésima iteração, teremos:

$$d_{1i}^k = \text{Min}_{X_i \in A_k} [d_{1i}^{k-1}, (d_{1j} + d_{ji})]$$

Onde:

d_{1i}^0 são os custos iniciais atribuídos aos vértices

A_k é o conjunto dos vértices ainda abertos na k ésima iteração.

Exemplo:

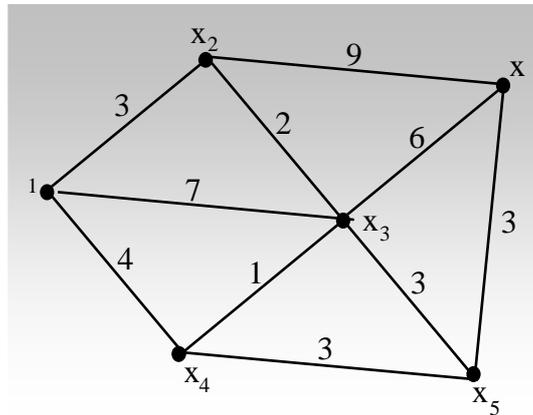


Figura 15 – Exemplo Dijkstra

<u>0</u>	∞	∞	∞	∞	∞
*	<u>3</u>	7	4	∞	∞
*	*	5	<u>4</u>	∞	12
*	*	<u>5</u>	*	7	12
*	*	*	*	<u>7</u>	11
*	*	*	*	*	<u>10</u>

Tabela 3 - $d_{12} = 3$, $d_{14} = 4$, $d_{13} = 5$, $d_{15} = 7$, $d_{16} = 10$

2.4.4 – A necessidade de criação de um novo algoritmo

Pode-se concluir com base nos algoritmos do Caixeiro Viajante, Dijkstra e de Ford Fulkerson que existe em todos a preocupação em se encontrar no caso do transporte, a melhor rota para o atendimento de uma demanda localizada.

Percebe-se no entanto, que a utilização de limitações de volume Máximo de carga a ser entregue e de tempo de entrega complicariam muito a utilização destes algoritmos,

fazendo, por exemplo, que problemas de roteamento de veículos, incluindo o caso particular do caixeiro viajante, pertençam à categoria conhecida como *NP*-difícil (do inglês “*NP-hard*”), o que significa que possuem ordem de complexidade exponencial. Em outras palavras, o esforço computacional para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema o que dificulta muito sua aplicação em empresas de micro e pequeno porte, fugindo completamente do escopo desta dissertação.

Com base no exposto, decidiu-se pelo desenvolvimento de um novo algoritmo de pequena complexidade que contemple tanto a localização da melhor rota, quanto a limitações de volume transportado e tempo de entrega.

2.4.5 - A utilização dos sistemas comerciais

Muitos dos pacotes disponíveis no mercado brasileiro são bastante sofisticados e poderosos em termos de recursos e de possibilidades de consideração de diversos tipos de restrições, tendo sido testados e validados em diferentes tipos de problemas.

Como fator negativo, percebe-se sua difícil implantação que exige investimentos e recursos significativos, além de tempo para a preparação das bases de dados e para treinamento para utilização, até que estejam em condições operacionais para a sua efetiva utilização no dia-a-dia das empresas.

Um aspecto importante a ser destacado é que, embora a maioria dos modelos propõe se a otimizar o roteamento, na prática nem sempre os algoritmos conseguem levar em consideração todas as parcelas dos custos de operação, que compreendem não só os custos variáveis com a distância percorrida, como também os custos fixos dos veículos e os custos horários da tripulação.

Mudanças tecnológicas são cada vez mais iminentes, Cunha (2000) alerta que em breve os pacotes de roteamento devem cada vez mais deixar de serem ferramentas de otimização isoladas e integrarem se aos diversos sistemas e bancos de dados das empresas, entre os quais os referentes a pedidos, cadastro de clientes e faturamento e até ferramentas do tipo ERP – “*Enterprise Resource Planning*”. Afirma também que no futuro, os sistemas de roteamento virão integrar se também aos sistemas de rastreamento de veículos via GPS, possibilitando a alteração dinâmica e em tempo real de roteiros, de forma a atender novas solicitações, além de proverem uma retro-alimentação dos dados das viagens realizadas de forma a permitir o ajuste e o aprimoramento das bases de dados de tempos de viagem e distâncias.

2.5 - Redes de Petri - Definição e origem

A Rede de Petri introduzida por Carl Adam Petri em sua tese intitulada "Comunicação com autômatos" é uma ferramenta gráfica e algébrica que apresenta um bom nível de abstração em comparação com outros modelos gráficos (PETERSON, 1981).

O seu desenvolvimento posterior deu-se pelas suas numerosas potencialidades de modelação, principalmente na sincronização de processos, concorrência, conflitos e partilha de recursos.

As Redes de Petri (RP) são um modelo do tipo estado-evento, onde cada evento possui pré-condições que permitem sua ocorrência e pós-condições decorrentes desta, as quais são por sua vez são pré-condições de outros eventos posteriores.

Consideram-se também um tipo particular de grafo orientado, que permite modelar desde propriedades estáticas de um sistema a eventos discretos constituído de dois tipos de nós: as transições (eventos que caracterizam as mudanças de estado do sistema), e os lugares

(condições que devem ser atendidas para a ocorrência dos eventos) interligados por arcos direcionados ponderados (PETERSON, 1981).

Podemos dizer ainda que são, portanto, um formalismo que permitem a modelagem de sistemas dinâmicos discretos com grande poder de expressividade, permitindo representar com facilidade todas as relações de causalidade entre processos em situações de seqüencialidade, conflito, concorrência e sincronização.

Os eventos do sistema são então representados por transições (barras) correspondendo assim, a cada evento, uma transição cujo disparo indica sua ocorrência.

Relacionam-se os eventos às condições através de arcos direcionados que interligam as transições aos lugares. Podemos então defini-las como um modelo formal de especificação e controle do fluxo de informações de um sistema discreto qualquer.

2.5.1 - Conceituação Formal

Uma Rede de Petri (simples ou Autônoma) é composta de quatro partes: Um conjunto de lugares P, um conjunto de transições T, uma aplicação de entrada I ou Pré, e uma aplicação de saída O ou Pós. As funções de entrada e saída relacionam transições e posições. Sendo assim, sua é definida por suas posições, transições, a função de entrada I (ou Pré), e a função de saída O (ou Pós). Uma rede de Petri é um 5^{tuplo} (P, T, Pré, Pós, \underline{M}_0):

Onde:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ é um conjunto finito de posições;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ é um conjunto finito de transições;

Pre: $P \times T \rightarrow N$ é a aplicação de precedência ou aplicação de entradas das transições (N é o conjunto de inteiros naturais);

$\text{Pos: TxP} \rightarrow \mathbb{N}$ é a aplicação da póscedência ou aplicação da saída das transições.

$M_0: P \rightarrow \mathbb{N}$ é a aplicação da marcação inicial, uma marcação M associa a cada posição p um número de fichas $M(p) \geq 0$.

2.5.2 - Conceituação Gráfica:

A R_p pode ser vista como um grafo bipartido orientado, definido por

$$R = \{P, T, \text{Pré}, \text{Pos}, M_0\}.$$

Onde:

P é um conjunto finito de posições representado por círculos;

T é um conjunto finito de transições representado por barras;

Pré e Pos São as relações de precedência e póscedência, aplicados respectivamente, $P \times T$ e $T \times P$ em $\mathbb{I} = \{0, 1\}$;

$\text{Pré}(p_j, t_i)$ Se existe um arco para a posição p_j para a transição t_i algum;

$\text{Pos}(t_m, p_e)$ Se existe um arco da posição t_m para a posição p_e ;

Então, p_j é um “input” de t_i e p_e é um output de t_m .

Define-se $\text{Pre}(t)$ e $\text{Pos}(t)$, respectivamente, como o conjunto de posições de “input” e “output” da transição t (analogamente para $\text{pre}(p)$ e $\text{pos}(p)$).

Genericamente, Pre e Pos são aplicações de $P \times T$ e $T \times P$ nos \mathbb{N} : onde tem-se redes genéricas com, $\text{Pré}(p_j, t_i) = k$ se existirem k - arcos de p_j para t_i e $\text{Pos}(t_m, p_e) = k'$ se existir k' - arcos de t_m para p_e .

Uma marcação M é representada pelo número correspondente de fichas no interior das posições. Na rede de Petri a seguir representada pela **figura 16**, os círculos são as posições e as barras são as transições; as ligações são os arcos orientados.

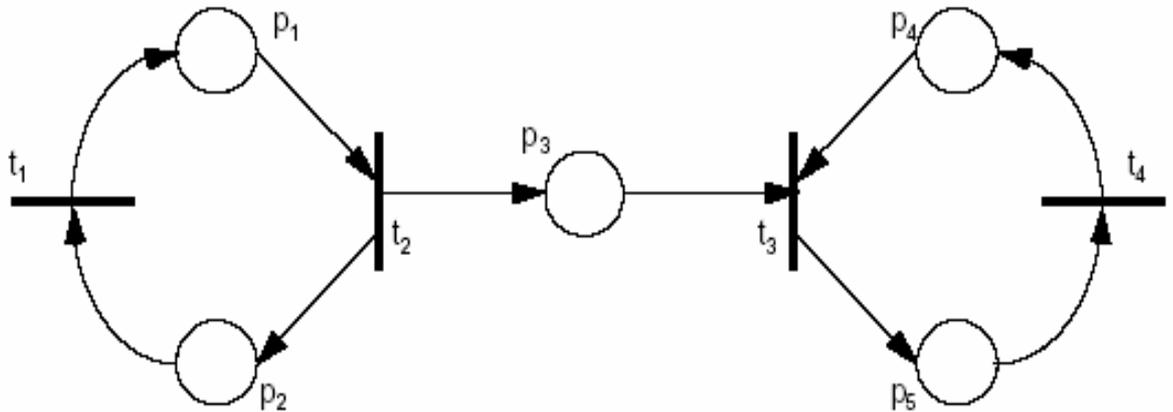


Figura 16 –Exemplo de Rede de Petri

2.5.3 - Rede de Petri Marcada.

Uma Rede de Petri marcada é uma dupla

$$N = (R, M_0) \quad (2.2)$$

Onde:

R é uma Rede de Petri.

M_0 é a marcação inicial dada pela aplicação.

$$M: P \rightarrow N \quad (2.3)$$

Sendo $M(p)$ O equivalente ao número de fichas contidas em cada lugar.

A marcação de todos os lugares é representada por um vetor n-dimensional:

$$M = [m_1, m_2, \dots, m_j]^T \quad (2.4)$$

$m_j = \epsilon$ é o número de fichas do lugar p_j

A marcação num determinado instante representa o estado da Rede de Petri, ou mais precisamente o estado do sistema descrito pela R_p , assim a evolução do estado da R_p corresponde a uma evolução da marcação, a qual é causada pelo disparo de transições como veremos posteriormente.

Uma marcação M é, portanto, uma aplicação que associa a cada lugar na R_p um inteiro não negativo chamado de ficha. Pode-se dizer também que M é a distribuição das fichas nos lugares "p" ou o número de fichas nos lugares, conforme pode ser visto na **Figura 17**, onde a marcação M_0 está dada por $M = [3, 1, 3, 0]^T$.

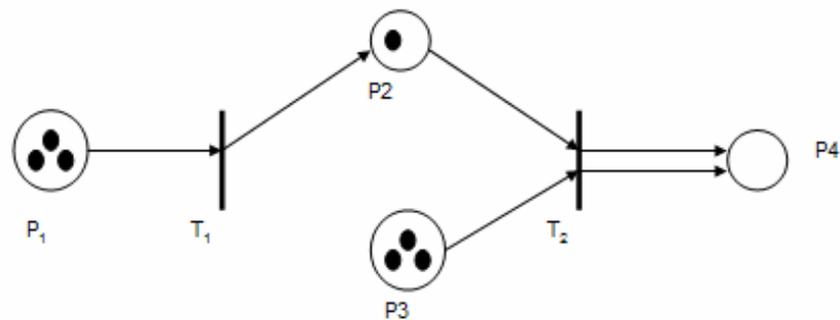


Figura 17 - Rede de Petri marcada

2.5.4 - Disparo das transições

As transições movem as fichas contidas nos lugares. Os arcos ligados a cada transição indicam exatamente sobre que lugares atuam. Um arco com origem num lugar e término numa transição é chamado arco de entrada e indica que essa transição subtrai quando disparada uma ficha desse lugar.

De forma simétrica, um arco com origem numa transição e fim num lugar é chamado de arco de saída e indica que essa transição quando disparada adiciona uma ficha a esse lugar.

Assim sendo, podemos pensar nos arcos como indicando o sentido do movimento das fichas marcas de um lugar para outro, atravessando a transição.

Percebemos então, que uma transição só pode disparar se cada lugar de entrada contiver pelo menos uma ficha de forma a poder ser retirada no disparo da transição, pelo respectivo arco. Quando a transição é habilitada, o disparo de uma transição é instantâneo, ou seja, as duas ações citadas são efetuadas ao mesmo tempo. Assim sendo, não existe nenhum instante no qual todos, ou parte, dos lugares de entrada já contêm menos uma ficha e todos, ou parte, dos lugares de saída ainda não contêm mais uma ficha conforme pode ser observado na *figura 18*.

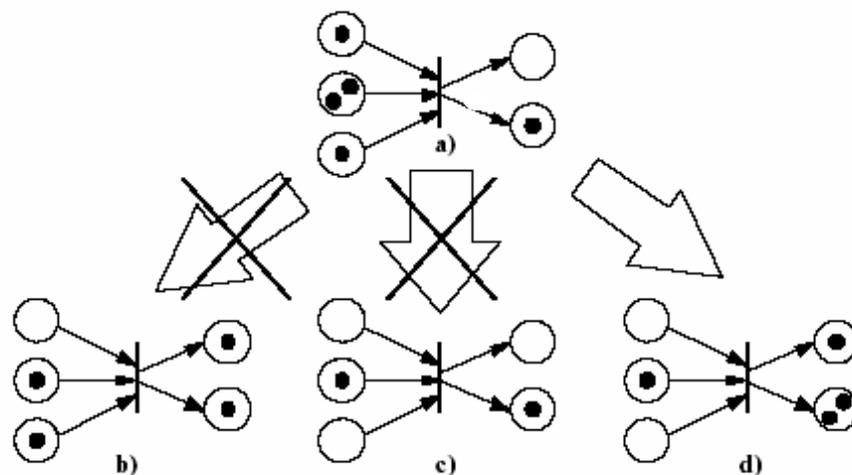


Figura 18 - Disparo de uma transição. (Barros, 1996).

- a) Corresponde a situação inicial.
- b) Não corresponde ao resultado do disparo da transição.
- c) Não corresponde ao resultado do disparo da transição.
- d) Representa a rede obtida após o disparo.

É muito importante notar que apesar de, por vezes, se falar em “movimento de fichas, do ponto de vista formal, não é correto fazê-lo pois, o que acontece, quando do disparo de uma transição, não é a mudança de fichas, dos lugares de entrada da transição para os lugares de saída, mas sim, a remoção de fichas nos lugares de entrada e a criação de novas fichas nos lugares de saída”.

Os arcos de saída são, portanto, criadores de novas fichas e não simples depositantes das fichas retiradas pelos arcos de entrada o que seria contrário ao fato de uma transição poder possuir diferentes quantidades de arcos de entrada e de saída.

Um tipo de rede, muito utilizada denominada RP generalizada, permite a existência de múltiplos arcos entre nós, o que equivale a associar um inteiro a cada arco, constituindo, dessa forma, uma generalização do tipo de arcos já descrito. Nessas redes, cada arco não “transporta” necessariamente uma ficha e sim a quantidade especificada. A essa quantidade associada a cada arco dá-se o nome de peso.

2.6 - Principais Propriedades das Redes de Petri

2.6.1 – Propriedades

Dentro das principais propriedades para um modelo de Redes de Petri podemos diferenciar dois tipos:

- As relativas a R_p marcada ou propriedades dinâmicas (chamadas também de boas propriedades).
- As relativas as R_p não marcadas, conhecidas como propriedades estruturais (MURATA, 1989); (CARDOSO, 1993).

As relativas a R_p marcada ou propriedades dinâmicas são as que dependem da marcação inicial e estão ligadas à evolução da rede. Sua verificação se faz geralmente pela construção do grafo de marcações acessíveis.

As relativas as R_p não marcadas, conhecidas como propriedades estruturais são aquelas que dependem da estrutura topológica das R_p . Elas são independentes da marcação inicial M_0 fazendo com que sua análise seja baseada na teoria da álgebra linear, e essas propriedades podem ser caracterizadas em termos da matriz de incidência "C".

Ambas propriedades estão interligadas pois a dinâmica de uma R_p depende de sua estrutura.

2.6.2 - Propriedades Básicas.

As principais propriedades das Redes de Petri que possibilitam a análise do sistema modelado são:

- **Alcançabilidade** A alcançabilidade é fundamental e básica para estudar as propriedades dinâmicas de qualquer sistema. O disparo de uma transição habilitada mudará a distribuição das fichas (marcação) na rede de acordo com as regras descritas anteriormente. Na $R_p (P,T,Pré,Pós,M_0)$ denomina-se de alcançabilidade de uma marcação M (representada por $A(R;M)$) ao multi conjunto de todas as marcações geradas a partir de M . Garante que a distribuição das fichas (marcação) na rede será de acordo com as regras básicas das R_p .
- **Limitação:** Uma R_p marcada $N = (P,T,Pré,Pós,M_0)$ é dita ser k -limitada ou simplesmente limitada se o número de fichas em cada lugar não excede um número finito para qualquer marcação alcançável desde M_0 , isto é, a cada marcação M' , a qual pode ser alcançável desde M_0 , tem no máximo uma ficha em p **Figura 19**. Uma rede

marcada N é k -limitada se e somente se todos os seus lugares são k -limitados, ou seja, .ou garante que o sistema real modelado seja finito. Caso não seja (limitado) indicará que o modelo possui erro finito descrito anteriormente.

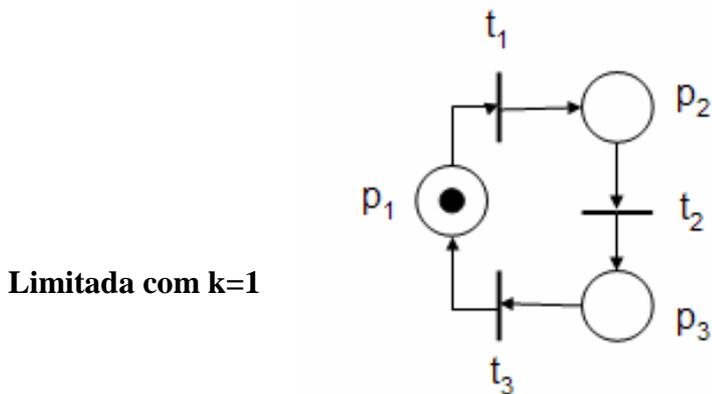


Figura 19 - Rede de Petri marcada e k -limitada Palomino (1995)

- **Vida:** O conceito de vivacidade está relacionado com a total ausência de bloqueios na operação do sistema. Uma R_p marcada é viva se todas as suas transições são vivas. As transições podem ser vivas se for possível sempre encontrar uma seqüência de disparos que as contém, ou quase viva se for somente disparável uma vez Cardoso, (1993). Assegura que o sistema não é sujeito a alguma situação de bloqueio, a partir da qual nenhuma nova evolução é possível.
- **Cíclicidade:** Uma R_p marcada é cíclica ou reinicializável para toda marcação se seu grafo de marcações acessíveis é fortemente conexo, isto é, não reinicializável, pois não existe nenhuma seqüência que permite voltar à marcação inicial após o disparo da transição t_1 . Garante a repetitividade do ciclo de operação do sistema estudado. .

2.6.3 - Propriedades Específicas

Concorrência ou Paralelismo - Atividades paralelas ou concorrentes podem ser facilmente expressas em termos de Redes de Petri. Por exemplo, na *figura 20*, as atividades paralelas ou concorrentes são representadas pelas transições t_2 e t_3 . Em geral duas transições são ditas concorrentes se elas ocorrem independentemente, isto é, uma transição pode disparar antes ou depois ou em paralelo com a outra, como no caso de t_2 e t_3 .

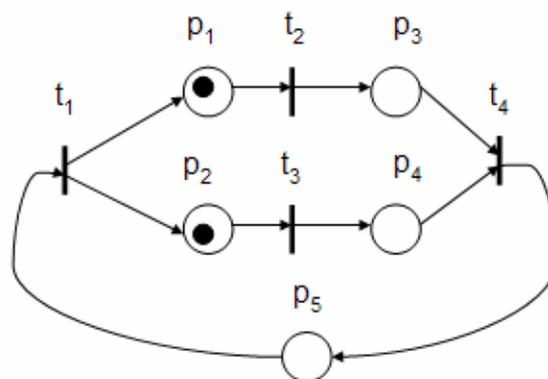


Figura 20 – Rede de Petri com uma atividade paralela

O paralelismo pode ser:

- **Paralelismo Estrutural** - Duas transições t_i e t_j são paralelas estruturalmente se possuem precedência distinta (não têm nenhum lugar de entrada em comum).
- **Paralelismo Efetivo** - Duas transições t_i e t_j são efetivamente paralelas para uma marcação dada M , se forem paralelas estruturalmente e também efetivamente paralelas podendo disparar de forma independente entre si.
- **Seqüência de transições** – É discreta e a ordem de ocorrência é uma das muitas permitidas pela estrutura básica (Não determinística). Por exemplo, várias transições

podem ser ativadas, mas só uma delas pode ser disparada. Isto decide de maneira aleatória ou por regras não modeladas tornando as RP mais complexas.

Uma forma de reduzir esta complexidade é fazer com que o disparo de uma transição (ocorrência de uma transição) seja considerado instantâneo (transições primitivas). Assim se garante que duas transições não podem disparar simultaneamente. Quando uma transição não é primitiva pode-se aumentar a estrutura introduzindo mais posições e transições.

- **Conflito** - Um conflito (escolha ou decisão) numa Rede de Petri (*figura 21*) é uma situação que pode levar a uma disputa não determinística de recursos (fichas).

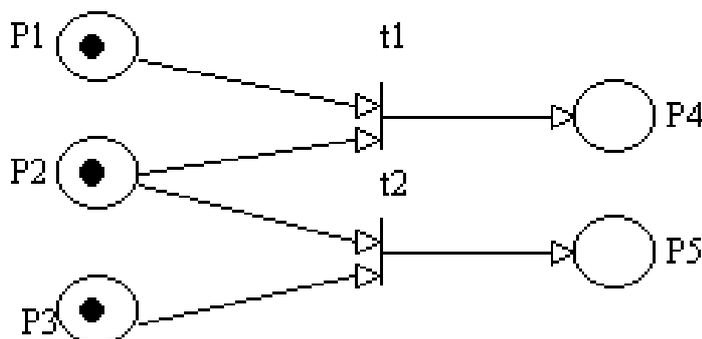


Figura 21 - Representação de uma situação de conflito

O conflito pode ser **Estrutural** quando duas transições t_j e t_k têm um lugar de entrada em comum ou efetivo quando duas transições t_j e t_k estão em conflito efetivo para uma marcação M se estão em conflito estrutural.

Natureza Assíncrona - Não existe medida inerente ao tempo quando mais de uma transição está habilitada ao mesmo tempo, então qualquer uma delas pode ser a próxima a

disparar, portanto o disparo de uma transição é feito de uma maneira não determinística. A única preocupação para com as RP é a ordenação parcial da seqüência de transições o que permite englobar diferentes temporizações.

Possibilidade de Hierarquias - Uma RP que modele um sistema não trivial, rapidamente torna se extensa demais para ser facilmente compreendida. Nestas situações o velho princípio “dividir para reinar”, surge como a forma mais óbvia de reduzir a complexidade e, desse modo, manter a legibilidade do modelo.

A forma mais natural e intuitiva de decompor uma RP é considerar a existência de sub-redes que comportam se como lugares ou como transições.

Desta forma, uma RP passa a incluir mais dois conjuntos de elementos: os macrolugares e as macrotransições, caso tratem de sub-redes que se comportem como lugares ou como transições, respectivamente.

Numa rede de Petri completa pode ser substituída, ou por um único círculo no caso das posições, ou por uma barra no caso das transições, o que leva a RP a possuir uma abstração maior conforme a *figura 22* (ALCÂNTARA GOMES, 1990).

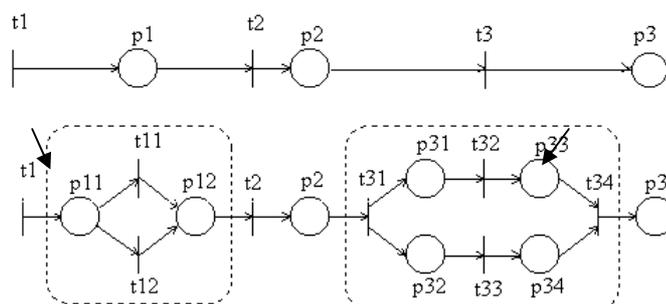


Figura 22 - Hierarquia numa Rede de Petri

2.7 - Redes de Petri coloridas.

Embora teoricamente interessantes e potencialmente úteis as RP hierárquicas não resolvem eficientemente o problema do crescimento excessivo do número de nós da rede, quando pretende se modelar um sistema não trivial.

As RP coloridas são uma extensão das RP, utilizadas quando os sistemas começam a tornar se complexos, como é o caso de um sistema de manufatura onde começam a aparecer certos problemas na modelagem, onde já não é possível a sua modelação por RP ordinárias. Esta complexidade (CARDOSO, 1993) significa às vezes a composição de vários processos semelhantes. Neste caso, quando se utiliza a RP Ordinária (com a marcação dos lugares dada por fichas indiferenciadas e com os lugares comportando se como contadores) têm-se duas escolhas:

1. Modelar o comportamento geral do processo, sem a necessidade de identificação de cada processo, somente de seu número.
2. Modelar individualmente cada um dos processos que constituem o sistema, e modelar a interação existente entre eles; o que consiste muitas vezes em desdobrar o modelo que representa o comportamento geral.

No primeiro caso obtém se uma descrição compacta, mas não detalhada o suficiente, já no segundo caso o modelo obtido pode ser pouco prático de se trabalhar seja pelo tamanho da rede, seja pelo número de interações existentes.

Para superar esses inconvenientes vários trabalhos foram realizados que se traduzem em diferentes modelos. Eles são chamados de Redes de Petri de alto Nível (RPAN) dentro dos quais encontram se as RP Predicado/Transição, RP Coloridas e as RP com variantes em suas definições.

Nas RP Coloridas, a cada ficha é atribuída uma cor diferente (*figura 23*) e a cada transição um conjunto de cores (JENSEN, 1980). As transições neste caso, só podem ser disparadas se certas condições relacionadas com as cores das fichas disponíveis são satisfeitas. O disparo de uma transição pode ou não mudar a cor das fichas envolvidas. Elas formam uma categoria de Redes cuja percepção intuitiva e poder de representação são maiores em relação às RP clássicas. (ALCÂNTARA GOMES, 1990)

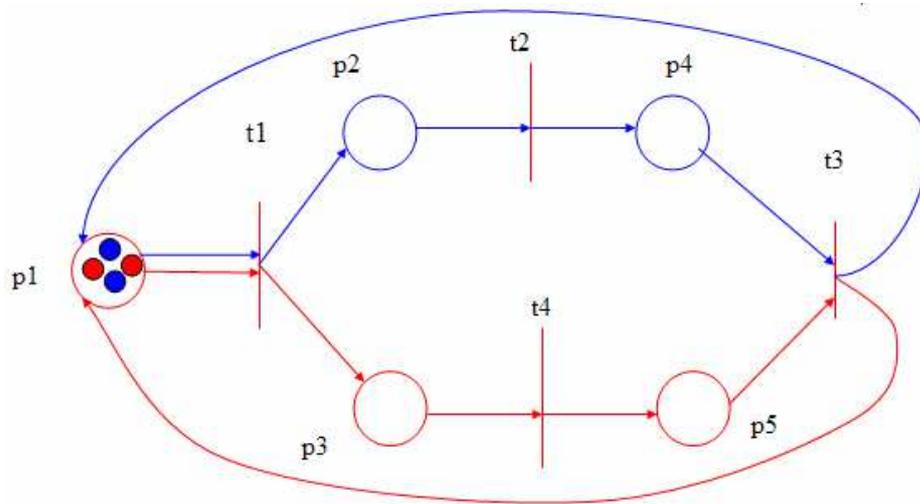


Figura 23 – Rede de Petri colorida

2.8 – Redes de Petri com Capacidade Finita.

É uma RP onde a cada lugar é associada uma capacidade de fichas. O disparo de uma transição de entrada p_i , cuja capacidade $\text{Cap}(p_i)$ é somente possível se o disparo desta transição não resulta num número de fichas em p_i que exceda esta capacidade.

O sistema pode ser representado pela Rp de capacidade finita como a da *Figura 24*. Nesta figura, as transições t_1 e t_3 estarão habilitadas enquanto t_0 não estiver habilitada porque p_i tem alcançado sua máxima capacidade.

A transformação de uma Rp de capacidade finita em uma Rp Ordinária é bastante simples, basta a cada lugar p_i que tenha uma capacidade finita $Cap(p_i)$ adicionar um lugar complementar p'_i , cuja marcação é também complementar para a capacidade de p_i . Isto quer dizer que $M(p'_i) = Cap(p_i) - M(p_i)$.

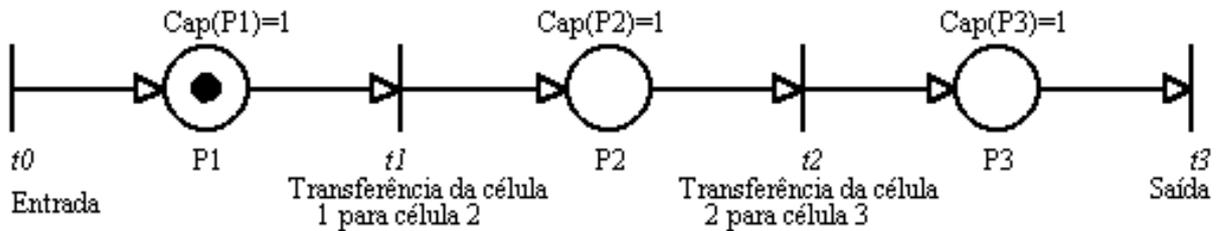


Figura 24 - Rede de Petri com Capacidade Finita fonte (Palomino, 1995)

2.9 - Redes de Petri com Arcos Inibidores ou blocadas.

Quando duas transições estão em conflito, a priorização é um problema comum numa RP. Para dar solução ao mesmo, aumentando assim o poder de modelagem das RP (PETERSON, 1981) foram criados os arcos inibidores ou blocagem.

Um arco inibidor é um arco dirigido que une um lugar p_i a uma transição t_j . O extremo final é marcado por um círculo pequeno como mostrado na **figura 25**. O arco inibidor entre p_2 e t_4 significa que a transição t_4 pode disparar se o lugar p_2 não contém nenhuma ficha.

O disparo de t_4 consiste em tomar uma ficha de cada lugar de entrada de t_4 , com exceção de p_2 , e depositar uma ficha em cada lugar de saída de t_4 . As expressões **teste zero** e RP estendidas são freqüentemente também usadas na literatura (MURATA, 1989) para se referir aos arcos inibidores.

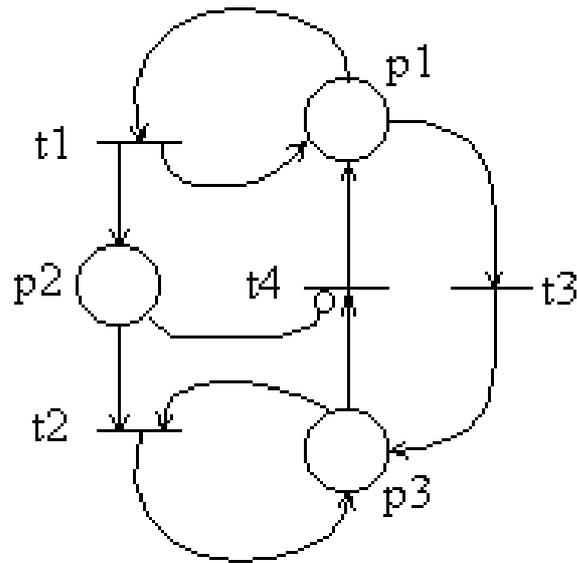


Figura 25 - Rede de Petri com Arco Inibidor (Palomino,1995)

2.10 - Redes de Petri Contínuas.

A característica principal das RP contínuas em relação às RP clássicas é que a marcação de uma posição é um número real (positivo) e não mais um inteiro. Sendo o disparo de uma transição realizado com um fluxo contínuo. Estas redes representam sistemas que não podem ser modelados por RP Ordinárias, obtendo um modelo muito apropriado também quando o número de marcações de uma RP Ordinária torna-se muito grande.

A **figura 26** é um exemplo de RP continua, onde os lugares são representados por dois círculos (DAVID, 1994) e as transições por retângulos para diferenciá-las dos lugares e das transições nas RP Ordinárias.

Consideremos que uma determinada bebida por ex. seja obtida pela mistura de outras duas na razão de 2 para 1. A **Figura 26(b)** representa o estado inicial aonde existe 1 litro da bebida "A" e 1 litro da bebida "B", e nada da bebida final "C".

O disparo da transição T_1 corresponde à mistura na razão apropriada. A transição T_1 é habilitada se $M_1 > 0$ e $M_2 > 0$. Numa RP pode-se ter um disparo, e logo outro

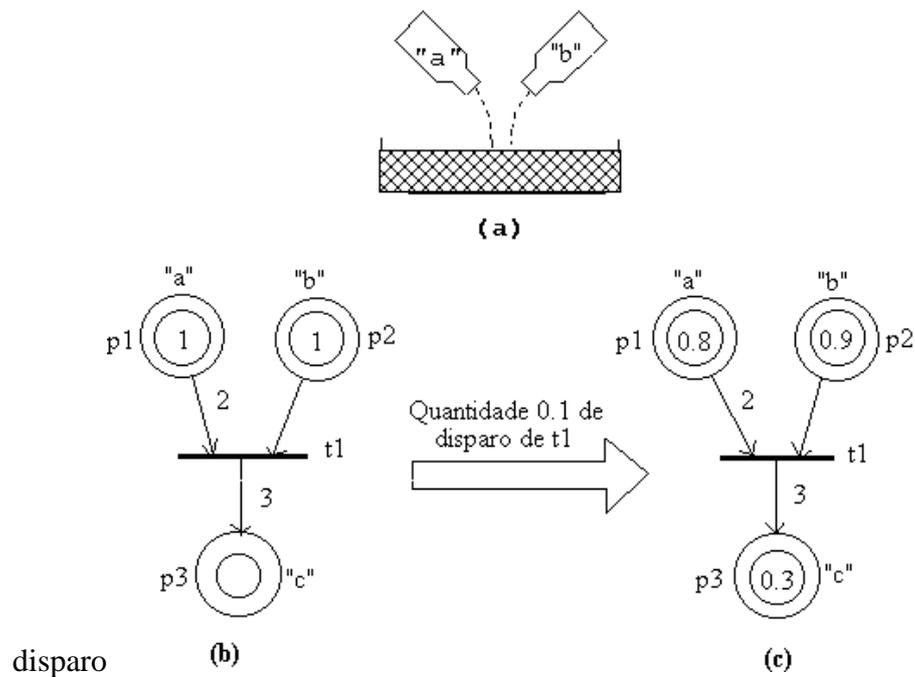


Figura 26 – Rede de Petri Contínua (David,1994)

Numa RP Contínua se terá uma quantidade de disparos a qual não é mais um inteiro (DAVID 1990). Por exemplo se a quantidade de disparo é $X = 0.1$, a marcação na *figura 26(c)* é obtida a partir da marcação na *Figura 26(b)*.

A quantidade $2X = 0.2$ marcas são tomadas do lugar p_1 , a quantidade $X = 0.1$ é tomada do lugar p_2 , e a quantidade de $3X = 0.3$ são então depositadas em p_3 .

A quantidade de disparo pode ser qualquer número real X tal que $X \leq M_1 / 2$, e $X \leq M_2$. Esta quantidade pode ser infinitamente pequena.

2.11 - Rede de Petri Híbrida.

Este modelo apresentado pela primeira vez por Le Bail (1992), é formado tanto por lugares e transições discretas quanto lugares e transições contínuas.

A *figura 27* demonstra uma máquina que realiza o revestimento de um fio metálico com plástico. O comportamento desta máquina pode então ser modelado por uma RP contínua que compreende aos lugares p_3 , p_4 e p_5 , e a transição t_3 na *Figura 27(b)*.

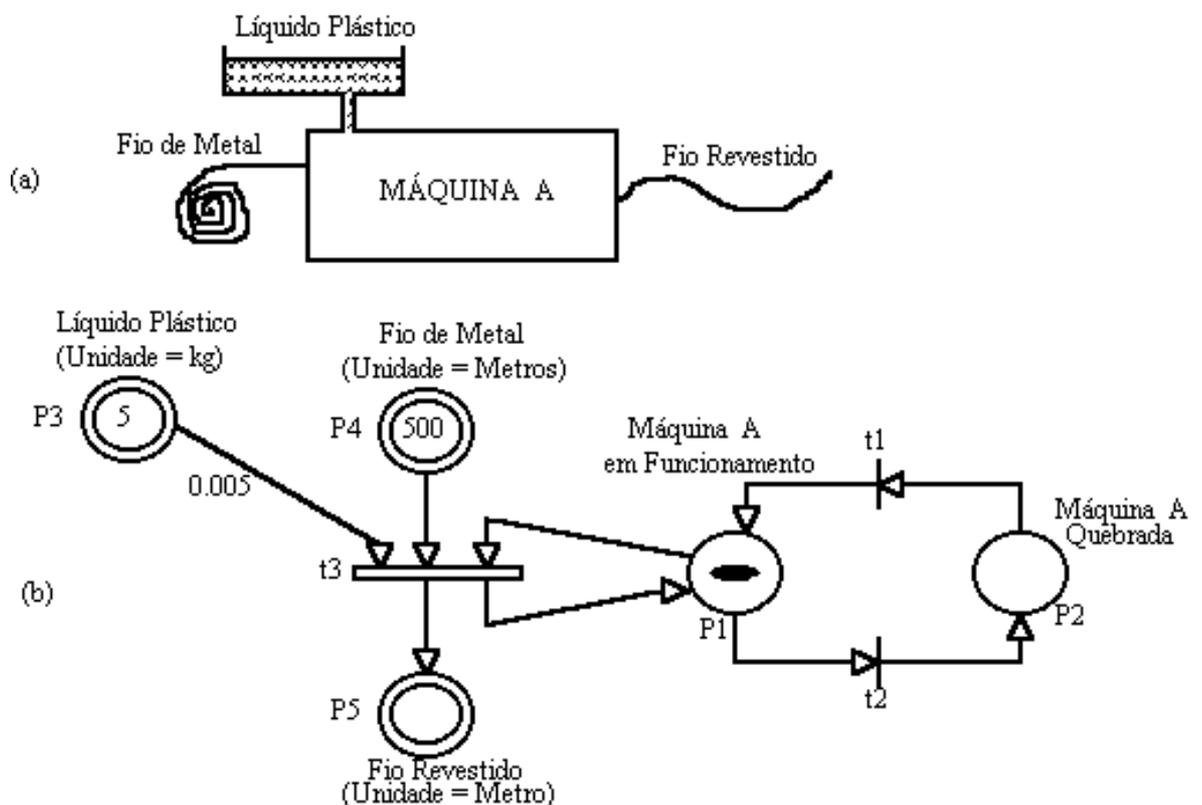


Figura 27 - Rede de Petri Híbrida (Le bail ,1991)

Se a máquina A quebrar, a produção é interrompida isto é, a transição t_3 não pode ser mais disparada. Sendo então este sistema modelado por uma RP híbrida na *Figura 27(b)*, na qual os lugares p_1 e p_2 e as transições t_1 e t_2 são discretas.

Na **Figura 27(b)**, a transição t_3 é habilitada se $M_3 > 0$, $M_4 > 0$, e exista uma ficha em p_1 . Considerando uma quantidade de disparo X desta transição: as marcações p_3 , p_4 e p_5 são modificadas segundo os correspondentes pesos, e a marcação de p_1 permanece a mesma, desde que existam os arcos p_1t_3 e t_3p_1 com o mesmo peso.

Se a máquina A quebrar, a transição t_2 é disparada (observe que isto significa a prioridade de t_2 sobre t_3). Existe agora uma ficha em p_2 , mas nenhuma ficha em p_1 . Então a transição t_3 não é mais habilitada.

2.12 - Redes de Petri Sincronizadas

Numa RP autônoma, uma transição pode ser disparada se ela é habilitada, mas não sabemos quando ela será disparada. Numa RP Sincronizada, um evento é associado a cada transição, e o disparo desta transição acontecerá se a transição estiver habilitada e quando o evento associado ocorrer.

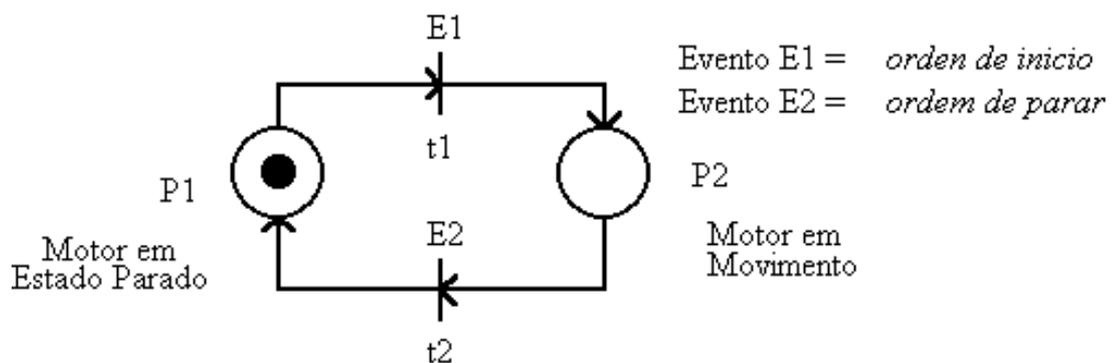


Figura 28 - Rede de Petri Sincronizada

Na *figura 28*, representam-se os estados de um motor. Esta é uma RP Sincronizada porque os disparos das transições são sincronizados sobre eventos externos (o evento externo corresponde a uma mudança no estado do mundo externo) (MOALLA ET AL, 1978).

2.13 - Rede de Petri com temporização associada.

A primeira demonstração de uma RP com temporização associada foi efetuada por Ranchandani em sua tese de Doutorado em 1973 no MIT que associou a cada transição da rede um único parâmetro temporal (sua duração de disparo). Existem várias extensões das RP que consideram o tempo na modelação pois ele é necessário na avaliação da performance de sistemas e no escalonamento de sistemas dinâmicos. A definição de uma RP pt-Temporizada para sistemas de produção é a seguinte:

$$\mathbf{RP\ pt-T} = \{\mathbf{P, T, Pré, Pos, d, \delta, e, L, \pi, \rho, \Delta, C, M_i}\}$$

Onde:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ é um conjunto finito de posições;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ é um conjunto finito de transições;

Pre: $P \times T \rightarrow N$ é a aplicação de precedência ou aplicação de entradas das transições (N é o conjunto de inteiros naturais);

Pos: $T \times P \rightarrow N$ é a aplicação da póscedência ou aplicação da saída das transições.

$d = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ é o conjunto finito de durações nas posições

$\delta = \{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n\}$ é o conjunto finito da duração das transições ou seja duração do deslocamento nas cidades.

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ é o conjunto de disparo das transições ao mais cedo, é a primeira data na qual a transição pode disparar quando sensibilizada.

Para tal, associa-se tempos de atraso aos lugares e ou transições. Pode-se qualificar como determinísticas, se os tempos são dados de forma determinística, ou probabilísticas, se os tempos são determinados de forma probabilística. Estas são extremamente úteis quando pretende se estudar desempenhos médios dos sistemas modelados. Dado que o sistema desenvolvido tem como objetivo, a geração de código para execução da RP a partir da modelação de um sistema de tempo real, apenas descreve resumidamente os principais tipos de Rp temporizadas determinísticas.

Existem dois modelos básicos de RP que permitem a modelação de temporizações:

1. As Rp temporizadas
2. As Rp com temporizações

As RP temporizadas são RP onde se associam os tempos de duração para o disparo das transições, ou tempos de indisponibilidade das fichas presentes nas posições.

No primeiro caso, as RP temporizadas são denominadas t-Temporizadas, e no segundo caso p-Temporizadas. Conforme Zurawski et al.(1989), RP temporizada é, por convenção, t-Temporizada. Tanto nas RP t-Temporizadas quanto nas RP p-Temporizadas, os tempos associados podem ser determinísticos ou probabilísticos pelo que as RP temporizadas podem ser qualificadas de determinísticas ou probabilísticas (MOLLOY, 1982).

Estas não podem ser resolvidas analiticamente, para casos gerais, se os atrasos não forem estocásticos e distribuídos exponencialmente. Quando destas ocorrência, as redes são denominadas estocásticas. Quando também se admitem transições com disparo instantâneo, denominam-se estocásticas generalizadas. Em Murata (1989) pode-se encontrar uma breve

introdução às RP estocásticas e estocásticas generalizadas, na modelação do desempenho de sistemas.

Nas RP t-Temporizadas, a regra de disparo é modificada em dois aspectos:

1. É necessário considerar o tempo que a transição demora a disparar;
2. A transição tem obrigatoriamente de disparar logo que se encontre habilitada.

O que significa dizer que, após a remoção das fichas dos postos de entrada, as fichas só serão depositadas nos postos de saída depois de decorrido o tempo associado à transição. Assim sendo, qualquer descrição dos estados da RP tem que contemplar não apenas as marcações dos postos mas também as fichas que encontram-se “dentro” da transição. Isto significa que o conjunto de marcações (ou estados) da RP temporizada pode ser muito diferente do conjunto de marcações(ou estados) que se alcançam com a Rp não temporizada.

As fichas nos postos encontram-se sempre disponíveis para habilitar as transições.

Nas RP p-Temporizadas, a temporização é feita nos postos. Quando as fichas são depositadas num posto temporizado, ficam disponíveis para habilitar outras transições somente após o tempo associado ao posto.

O disparo das transições é instantâneo tal como nas RP ordinárias. Ambos os modelos são equivalentes (RANCHANDANI, 1974).

Dado um modelo p-Temporizado, o modelo temporizado pode ser obtido por substituição de cada um dos postos temporizados por uma rede constituída por postos com transição com temporização igual ao posto substituído, e outro lugar. O procedimento é simétrico para passar de uma rede t-Temporizada para uma p-Temporizada, **Figura 29**.

Nas RP com temporizações, cada transição está associada a um intervalo de tempo:

$$0 \leq a \leq b \leq \infty$$

O valor a do intervalo é um valor mínimo, contado a partir do instante em que a transição fica apta, que deve decorrer até a transição disparar.

O valor b é o tempo máximo que a transição pode estar apta sem disparar. Em outras palavras, cada transição tem um intervalo de tempo associado durante o qual tem necessariamente de disparar.

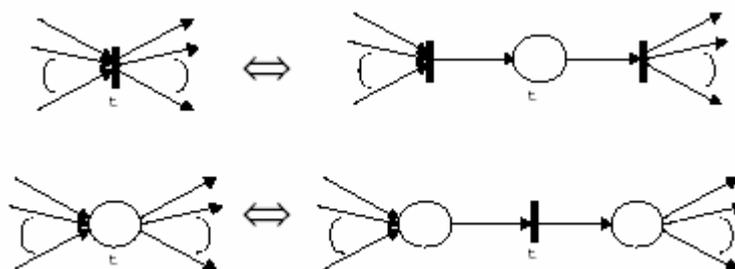


Figura 29 - Equivalências entre RP p e RP t-Temporizadas. Fonte Barros (1995)

Em Kumar et al.,(1994) é apresentado um modelo de RP temporizadas nos postos e nas transições, pelo que as RP p-Temporizadas e t-Temporizadas surgem como casos particulares desse modelo.

Por outro lado, o tempo associado com um posto ou uma transição não é considerado um simples atraso podendo ter associado um mecanismo de fila-de-espera arbitrário (KUMAR ET AL., 1994).

É importante frisar que estes modelos de RP apresentam uma semântica distinta. As temporizações associadas às transições podem impedir ou forçar as transições a disparar, e as temporizações associadas aos postos podem impedir a habilitação de transições

2.14 - Rede de Petri Estocástica.

Nas RP temporizadas, uma duração fixa é associada com cada posto ou transição da rede, como por exemplo, em um sistema de produção onde o tempo de trabalho de uma

máquina para realizar uma determinada operação é constante. Existem, porém, casos onde ela não pode ser modelada com durações fixas e as RP estocásticas (HATONO, 1991), pois o tempo é associado com o disparo de cada transição que é geralmente distribuído exponencialmente.

Capítulo 3 - Metodologia

Neste capítulo busca-se esclarecer a forma de pesquisa desenvolvida, sua fundamentação, as preocupações metodológicas e apresentar o Universo da Pesquisa ou seja a cidade de Santa Rita do Sapucaí e a Rota Tecnológica da BR 459.

3.1 Tipo de Pesquisa

A metodologia é baseada na "pesquisa participante" (BRANDÃO 1999), no que se poderia chamar de pesquisa com intervenção, que mantém uma postura crítica, concebendo e fazendo ciência a partir de uma situação encontrada. Deve-se no entanto, salientar sua característica de produzir conhecimentos a partir da participação e cooperação de todos os envolvidos na situação pesquisada. Uma das preocupações metodológicas deste trabalho é com a "intervenção participante" no sentido de incentivar o desenvolvimento das micro e pequenas empresas da Rota Tecnológica localizadas na BR-459 com o aumento de sua competitividade.

A pesquisa desenvolvida também é qualitativa pois Segundo Bonoma (1985), o método qualitativo é empregado "quando um fenômeno é amplo e complexo, onde o corpo de conhecimentos existente é insuficiente para permitir a proposição de questões causais e quando um fenômeno não pode ser estudado fora do contexto no qual ele naturalmente ocorre".

Segundo Godoy apud Leite (2001), a abordagem qualitativa é o caminho para se atingir os objetivos propostos, visto que a pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como fonte direta de dados e o pesquisador como instrumento fundamental, a investigação

qualitativa é descritiva e os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos (BODGAN & BIKLEN, 2000).

O cunho exploratório deve-se a finalidade tanto de averiguar a situação atual da compra e da distribuição de componentes eletrônicos desenvolvidas pelas empresas da Rota Tecnológica BR-459, como também por propor a utilização de um algoritmo especialmente desenvolvido para esta utilização, a partir de uma central de distribuição localizada em Santa Rita do Sapucaí.

Neste contexto, a metodologia a ser empregada envolve a pesquisa-ação visto que, a necessidade do tema abordado surgiu de observação prática do autor no desenvolvimento do problema de pesquisa e modelo. Thiollent (1996) definiu a pesquisa-ação como:

Um tipo de pesquisa com base na experiência do pesquisador que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

A adoção ou não da cooperativa aqui proposta ficará a cargo da SINDVEL que é o Sindicato das Indústrias do Vale da Eletrônica a quem este projeto foi submetido.

3.2 Universo da pesquisa

3.2.1 - O Cluster de Tecnologia da Rota tecnológica BR-459

A região sul do Estado de Minas Gerais abriga um grande número de empresas do setor de tecnologia da informação principalmente na Rota Tecnológica BR 459 que leva o nome da BR-459, rodovia interligada a outras duas bastante importantes, a BR -116 (Via Dutra) e a BR-381 (Rodovia Fernão Dias), que compreende o eixo rodoviário entre os

municípios de Lorena e Poços de Caldas, bem como todas as cidades num raio de abrangência de 50Km ao

longo de todo o trajeto. Somente no estado de Minas Gerais são cerca de 159 municípios envolvidos.

As cidades à margem desta rodovia formam um jovem e atuante *cluster* que possui hoje várias cidades que atuam de forma efetiva em tecnologia da informação, telecomunicações, automação, informática, software, equipamentos eletrônicos e afins.

Os municípios de Itajubá, Pouso Alegre e Santa Rita do Sapucaí possuem hoje um grande potencial de crescimento, segundo a pesquisa realizada pela McKinsey & Company no projeto Cresce Minas.

Apesar de ser menor que outros centros produtores, como São Paulo, Campinas ou São José dos Campos, o *cluster* apresenta bom nível de investimento em desenvolvimento de novos produtos. Segundo a Mckinsey & Company (1999), cerca de 30% da receita das empresas do *cluster* em 1998 foi gerada através de novos produtos.

É possível consolidar o *cluster*, transformando-o em um dos principais centros de excelência do setor, no País, com visibilidade internacional e alta capacidade de atração de investimentos.

3.2.2 - Histórico da Indústria do Vale da Eletrônica

O município de Santa Rita do Sapucaí situa-se no sul do Estado de Minas Gerais distando 380 km do Rio de Janeiro, 400 km de Belo Horizonte, 220 km de São Paulo e 130km do Vale do Paraíba, estando a uma altitude de 821m. O município possui uma área de 321km², às margens do Rio Sapucaí, contando com uma população de aproximadamente 40.000 habitantes.

A indústria de tecnologia emprega 6.300 pessoas, cerca de 35% da população economicamente ativa, cresce mais rápido que o agronegócio e responde por metade da atividade econômica do município.

Sua localização é estratégica entre as capitais Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro e próxima de outros pólos importantes como Campinas e São José dos Campos.

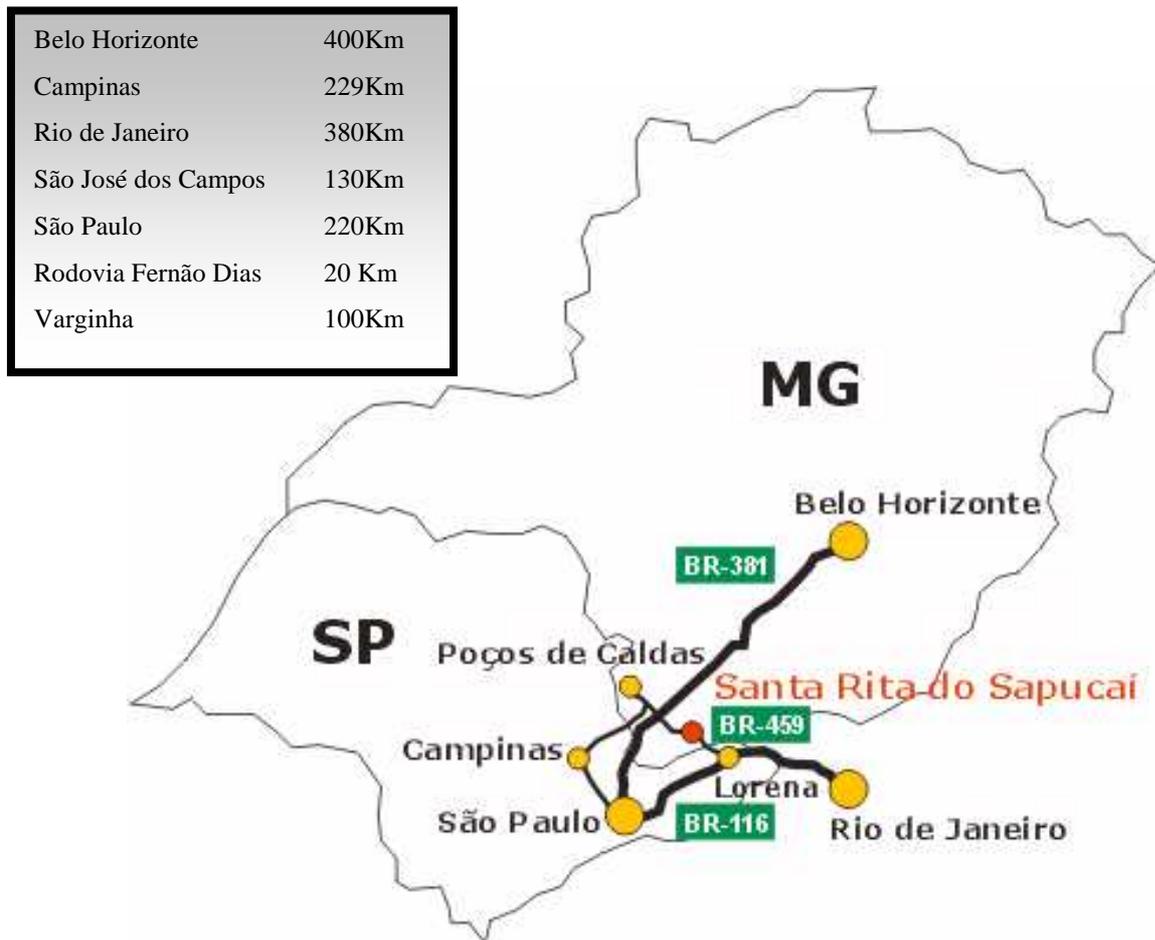


Figura 30 – Localização da Rota Tecnológica BR 459.

Segundo Medeiros (1992), não existe no Brasil um só pólo tecnológico que se compare ao de Santa Rita do Sapucaí, trabalhando com tecnologias existentes e também desenvolvendo alta tecnologia, como ocorre em São José dos Campos, Campinas e São

Carlos, no Estado de São Paulo. As diferenças entre o pólo tecnológico de Santa Rita do Sapucaí e as demais experiências brasileiras não param por aí.

Enquanto em outros pólos os empresários encontraram e ainda encontram, ocasionalmente, uma certa resistência do meio acadêmico à aproximação com o setor produtivo, em Santa Rita do Sapucaí ocorre exatamente o contrário, as instituições de ensino da cidade são fonte permanente de incentivos aos empresários que possuam boas idéias que possam ser transformados em um bom negócio.

Santa Rita do Sapucaí é conhecida como Vale da Eletrônica, numa alusão ao Vale do Silício instalado na década de 50 em torno da Universidade de Stanford, na Califórnia, Estados Unidos, começou oficialmente em 1985. Entretanto, a idéia de organizar o pólo tecnológico chegou mais tarde, fruto da iniciativa, da visão, senso de oportunidade e idealismo de alguns homens.

Na verdade, a origem do pólo está na criação de várias escolas, a partir da década de 60, iniciando-se pela Escola Técnica de Eletrônica “Francisco Moreira da Costa” – ETE, por Luzia Rennó Moreira, nascida em Santa Rita e que foi embaixatriz no Japão.

Baseou-se no modelo japonês para a criação da ETE, oficializada através do decreto de no. 44.490, de 17 de setembro de 1958, assinado pelo então presidente Juscelino Kubitschek. Em 1965 foi criado o Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL, hoje com a graduação em engenharia elétrica, modalidade em Eletrônica, com ênfase em Telecomunicações. Em janeiro de 1971, foi criada a Faculdade de Administração de Empresas de Santa Rita do Sapucaí com o curso de bacharelado em Administração e hoje conta também com curso de bacharelado em ciência da computação. Além dessas escolas, existe ainda o Colégio Tecnológico Doutor Delfim Moreira, sendo a instituição educacional mais antiga do município.

Segundo Kallás (1994), essas escolas teriam desenvolvido modelos acadêmicos muito orientados as demandas do mercado e, conseguiram em curto período de tempo, posicionarem-se no segmento industrial eletroeletrônico e de comunicações, como centros de preparação de recursos humanos altamente qualificados. O subproduto mais importante dessa vocação para o mercado teria sido o empreendedorismo, que marcou o perfil dos alunos dessas escolas e transformou a pequena Santa Rita, numa verdadeira incubadora de empresas de base tecnológica, alterando substancialmente a estrutura da sua economia, antes representada, com exclusividade, pelo setor agropecuário.

O impulso decisivo para a instalação do pólo tecnológico de Santa Rita partiu de um prefeito da cidade, Paulo Frederico Toledo, que não mediu esforços para garantir o florescimento do pólo. Antes de sua oficialização como tal, já havia mais de uma dezena de pequenas empresas em atividade e muitos alunos do INATEL, que montavam seus projetos em salas de fundo de quintal, aceitavam encomendas e vendiam seus produtos na mais completa informalidade.

A prefeitura, em parceria com o INATEL, a ETE, a FAI e a Associação Industrial, procurou organizar esse setor da economia que despontava. Foram oferecidos incentivos fiscais, terrenos e facilidades para o pagamento de aluguel de galpões, com o objetivo de auxiliar os empresários a se estruturar.

Nos primeiros anos de organização do pólo, a prefeitura escolhia, com o auxílio do INATEL, as empresas às quais concederia incentivos fiscais e outras facilidades. Além da qualidade do projeto apresentado, era indispensável que não poluíssem o meio ambiente e que não houvesse concorrência direta com as que já estavam estabelecidas. Ocorreu entre elas uma certa complementaridade e era comum a troca de experiências entre os empresários, os mais antigos orientando os mais novos, os maiores apoiando os menores.

Outro fator fundamental para a consolidação do Vale da Eletrônica foi à implantação de incubadoras de empresas. Iniciando-se com a do INATEL em 1985, de maneira informal. A partir de 1992, começa a criar áreas específicas para o processo de incubação.

Nesse momento, as empresas geradas através do processo informal já estavam consolidando se, mantendo o nível de faturamento e emprego, o que configurava um ambiente típico de incubação.

Assim, a incubadora do INATEL passa a formalizar se, adquirindo espaço físico próprio e diferenciado na escola e um coordenador para o projeto. Tais medidas continuaram a garantir o sucesso do empreendimento, até janeiro de 1999. Depois desta data, a incubadora do INATEL ingressou em uma nova fase, caracterizada pela profissionalização do processo, com a implantação de estatutos, regimentos e regras de incubação, adotando-se, entre outras medidas, a necessidade de apresentação de planos de negócios acompanhados de indicadores de desempenho.

Todos os fatores citados foram fundamentais para a consolidação da vocação do Vale da Eletrônica: criação e implantação de empresas de base tecnológica.

A Associação Industrial de Santa Rita do Sapucaí reúne as indústrias eletrônicas do município e oferece todo o suporte necessário às empresas do Vale da Eletrônica, como cursos, participação em feiras, congressos e eventos nacionais e internacionais e balcão de empregos.

Além disso, a Associação administra o balcão Sebrae (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), conta também com o apoio de um consultor da Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais – FIEMG para o desenvolvimento do Projeto Cresce Minas, no município.

De acordo com dados fornecidos pela Associação Industrial de Santa Rita do Sapucaí, em junho de 2006, a cidade possuía 112 empresas fabricando equipamentos, partes, peças e

softwares para eletrônica, telecomunicações e automação. Essas empresas trabalham com tecnologia de ponta e investem em pesquisa e desenvolvimento para geração de novos produtos e serviços.

Quanto às incubadoras de empresas, além do INATEL, existem em Santa Rita, incubadoras na ETE, FAI, Colégio Tecnológico Delfim Moreira e prefeitura municipal.

A cidade possui também um Centro Empresarial Municipal em um condomínio fechado contendo 13 empresas que utilizam alguns recursos de modo compartilhado.

No local foi construída uma unidade do SESI/SENAI/FIEMG, para atender a demanda de treinamentos por parte das empresas.

Segundo Porter (1998), a cooperação entre as entidades que formam uma mesma cadeia de valor e gravitam em torno dela pode gerar uma dinâmica com muitos vencedores e Universidades capacitadas e alinhadas com as necessidades da comunidade econômica local educam melhor as pessoas que irão trabalhar nos centros de pesquisa e desenvolvimento das empresas, levando inovações aos produtos e fazendo aumentar sua competitividade.

Esses ciclos virtuosos ocorrem nos mais diversos pontos ao longo das cadeias de valor das mais variadas indústrias.

Capítulo 4 - Algoritmo de roteamento One-day delivery

4.1 – Motivação

O algoritmo abaixo foi desenvolvido com base na necessidade percebida em ter se um modelo que dispensasse, de forma eficiente, à utilização de programas computacionais devido a sua fácil aplicação, para que se pudesse calcular a melhor forma de entrega de produtos nas localidades, procurando-se:

- Minimizar o custo de transporte.
- Maximizar a carga transportada pelo(s) veículo(s).
- Considerar o tempo máximo de entrega igual a um dia de trabalho.

Para tal, deve-se atender as seguintes limitações:

Máximo volume transportado $|\leq$ Carga do veículo (a,b,...n) (I)

Máximo tempo $| t \leq 8$ horas (II)

Min V |Max v (III)

Onde:

V = Número de veículos

v = Volume transportado

Min C (IV)

Onde: C = Custo

4.2 – O algoritmo

Passo 1 Com base nos dados de posições para os quais o roteamento deve ser elaborado, constrói-se a Rede de Petri pt-temporizada com blocagem. Para indicar todas as possibilidades de percurso conforme exemplo da *figura 31*.

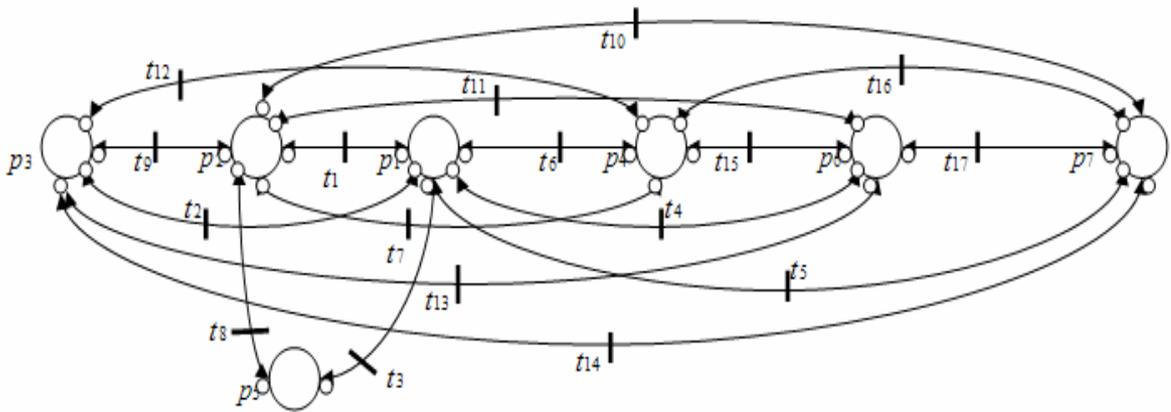


Figura 31 – Exemplo de Rp pt-Temporizada com blocagem.

Passo 2 Constrói-se um quadriculado contendo $n+1$ linhas por $n.j+1$ colunas onde n representa o número de cidades a serem abastecidas incluindo a origem e j representa a quantidade-tipo de veículos a serem utilizados pelo centro de distribuição. As j colunas serão agrupadas a partir da primeira coluna seguindo a partir da cidade destino que serão representadas por $Aa, Ba, Ca...$, onde a primeira letra (maiúscula) representa a cidade destino e a segunda letra (minúscula) representa o tipo de veículo a ser utilizado. Adiciona-se a este quadriculado em sua parte superior um quadriculado linha contendo $n+1$ cidades defasado de uma coluna em relação ao quadriculado original onde serão alocadas as quantidades solicitadas. A partir da segunda linha da primeira coluna do quadriculado colocam-se os n destinos (*figura 32*).

	Aa	Ab	Ba	Bb						Na	Nb
A											
B											
N											

Quantidades solicitadas e tempo de entrega.

Figura 32 – Quadriculado com indicação de onde colocar as quantidades solicitadas

Passo 3: Divide-se cada célula i do quadriculado num quadriculado associado contendo cinco linhas. Na primeira linha aloca-se o custo do transporte da cidade n para a cidade k onde k varia de um até o número de cidades para as quais haverá distribuição (**figura 33**).

	Aa	Ab	Ba	Cb						Na	Nb
A											
B											
N											

Custos de transporte

Figura 33 – Local onde se deve colocar o custo do transporte

A segunda linha deve ser subdividida em duas partes; na primeira parte após os cálculos aloca-se o custo acumulado e na segunda parte, o custo acumulado com retorno (*figura 34*).

	Aa	Ab	Ba	Bb	Ca	Cb					Na	Nb
Custo Acumulado												
A												
B												
N												

Diagram illustrating the placement of cumulative cost and cumulative cost with return. The grid has columns labeled Aa, Ab, Ba, Bb, Ca, Cb, Na, and Nb. Row A is highlighted. A box labeled 'Custo Acumulado' has an arrow pointing to the cell at the intersection of row A and column Ab. A box labeled 'Custo acumulado com retorno' has an arrow pointing to the cell at the intersection of row A and column Ba.

Figura 34 – Local onde se deve colocar o custo acumulado e o custo com retorno.

Na terceira linha aloca-se o intervalo de tempo da cidade n para a cidade k. (*figura 35*).

	Aa	Ab	Ba	Bb	Ca	Cb					Na	Nb
A												
B												
N												

Diagram illustrating the placement of the time interval between cities. The grid has columns labeled Aa, Ab, Ba, Bb, Ca, Cb, Na, and Nb. Row A is highlighted. A box labeled 'Intervalo de tempo de uma cidade a outra.' has an arrow pointing to the cell at the intersection of row A and column Ba.

Figura 35– Local onde se deve colocar o intervalo de tempo de uma cidade a outra.

A quarta linha deve ser subdividida em duas partes onde na primeira parte após os cálculos o intervalo de tempo acumulado e na segunda parte o intervalo de tempo com retorno (*Figura 36*).

	Aa	Ab	Ba	Bb	Ca	Cb					Na	Nb
A												
B												
N												

Intervalo de tempo acumulado

Intervalo de tempo acumulado com retorno

Figura 36 – Local onde devem ser colocados os intervalos de tempo acumulado e com retorno.

Na quinta linha é alocado o volume transportado acumulado após o cálculo (*Figura 37*).

	Aa	Ab	Ba	Bb	Ca	Cb					Na	Nb
A												
B												
N												

Volume transportado acumulado

Figura 37 – Local onde se deve colocar o volume transportado acumulado.

Passo 4: Partindo do princípio básico que todas as cidades devem ser atendidas no dia programado atendendo as limitações (II, V e VI), calculam-se as possibilidades de entrega traçando-se segmentos de retas ligando os pontos de origem e destino.

Observação importante:

Primeiro marcam-se os segmentos de reta das respostas triviais, ou seja, aquelas que não geram conflito por não necessitar de análise decisória.

Passo 5: De posse de todas as possibilidades traçadas por segmentos de retas, efetua-se a análise decisória com a construção de uma árvore de enumeração de caminhos na qual são unidas as folhas em comum de modo que os caminhos sejam complementares excluindo-se os caminhos já eliminados por serem triviais, compara-se o custo total obtido pelo somatório das folhas combinadas dos caminhos conectados e colhe-se a combinação de folhas que totaliza o menor custo atendendo a limitação (IV).

Passo 6: Mapeiam-se as rotas por veículo-tipo envolvidos no suprimento do dia calculado.

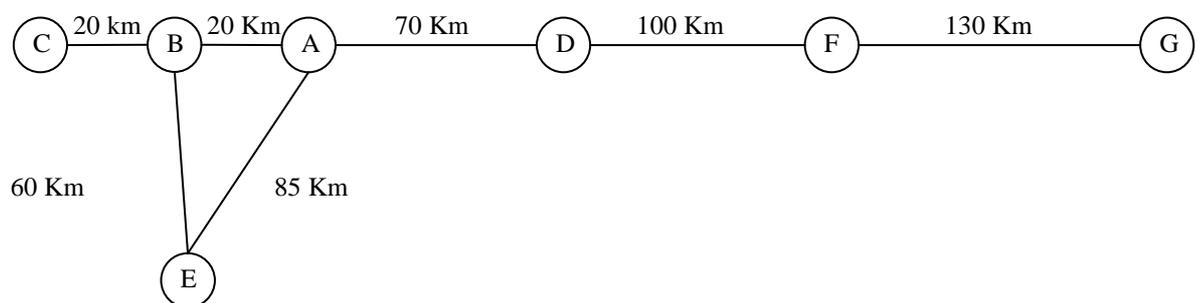
<< Fim >>

4.3 – Exemplo de aplicação do Algoritmo One-Day delivery

Para demonstrar a aplicação do algoritmo, deve-se considerar o volume de carga solicitado pelas cidades do **quadro 4** e as distâncias entre as cidades a serem atendidas fornecidas na **figura 38**.

Quadro 4 – Volume em litros solicitado em cada cidade

Volume solicitado em Litros	
A	0
B	6
C	90
D	12
E	30
F	18
G	120

**Figura 38 – Distância entre cidades a serem atendidas**

Baseando-se nas limitações encontradas, pode-se considerar o problema como um problema de dimensão Euleriana por trabalhar-se com diversas dimensões simultaneamente.

$$\text{Máximo volume transportado} \leq \text{Carga do veículo (a,b,...n)} \quad (\text{I})$$

$$\text{Máximo tempo} \leq \text{expediente aproximado de uma empresa (8 horas)} \quad (\text{II})$$

$$\text{Min } V \mid \text{Max } v \quad (\text{III})$$

Onde:

V = Número de veículos

v = Volume transportado

Min C (IV)

Onde:

C = Custo

Capacidade máxima do veículo a = 1000 litros. (V)

Capacidade máxima do veículo b = 20 litros. (VI)

Com a intenção de facilitar se o desenvolvimento do exemplo, adotou-se o valor da gasolina R\$ 1,00 e considerou-se o consumo dos veículos abaixo:

Veículo a – 5 Km/l

Veículo b – 10 Km/l

Calculou-se previamente as mínimas distâncias em Km a serem percorridas com base na *figura 38* onde se encontrou as seguintes distancias mínimas:

Min B – E { 60, 105 } = 60 Km

Min A – E { 80,85 } = 80 Km

Min B – A { 20,145 } = 20 Km

Demais distâncias são retiradas direto do *quadro 5* que foi elaborado a partir das distâncias conhecidas entre as cidades.

Quadro 5 – Distâncias mínimas a serem percorridas

Distância	A	B	C	D	E	F	G
A	0	20	40	70	80	170	300
B	20	0	20	90	60	190	320
C	40	20	0	110	80	210	340
D	70	90	110	0	150	100	230
E	80	60	80	150	0	250	380
F	170	190	210	100	250	0	130
G	300	320	340	230	380	130	0

Com base nas distâncias mínimas a serem percorridas, pode-se calcular o custo de transporte para cada um dos trechos conforme *Quadro 6*.

Quadro 6 – Custo de transporte para cada cidade

Consumo	A	B	C	D	E	F	G						
Veículo													
A		,2	,6	0,8	,4	6,8	,4	0,4	0,2	8,4	9,2	4	2
B	,2	,6		,2	,6	9,8	,6	6,8	,4	2	1	8,4	4,2
C	0,8	,4	,2	,6		5,2	2,6	0,4	0,2	6,8	3,4	4,4	7,2
D	6,8	,4	9,8	,6	5,2	2,6		4,8	2,4	4	2	0,4	5,2
E	0,4	0,2	6,8	,4	0,4	0,2	4,8	2,4		6,4	8,2	1,6	0,8
F	8,4	9,2	2	1	6,8	3,4	4	2	6,4	8,2		2,4	6,2
G	4	2	8,4	4,2	4,4	7,2	0,4	5,2	1,6	0,8	2,4	6,2	

De acordo com o histórico de cada trecho, estimou-se o tempo médio de deslocamento entre um ponto e outro para os veículos a e b conforme *quadro 7*.

Quadro 7 – Estimativa de tempo de deslocamento entre cidades em horas

Tempo Veículo	A		B		C		D		E		F		G	
A			,7	,7	,4	,4	,6	,6	,2	,2	,2	,2	,4	,4
B	,7	,7			,1	,1	,8	,8	,9	,9	,5	,5	,7	,7
C	,4	,4	,1	,1			,3	,3	,2	,2	,9	,9	,2	,2
D	,6	,6	,8	,8	,3	,3			,4	,4			,2	,2
E	,2	,2	,9	,9	,2	,2	,4	,4			,7	,7	,8	,8
F	,2	,2	,5	,5	,9	,9			,7	,7			,7	,7
G	,4	,4	,7	,7	,2	,2	,2	,2	,8	,8	,7	,7		

Com base nas distâncias mínimas a serem percorridas dadas no quadro 5 e o consumo de cada veículo, pôde-se também calcular o consumo de combustível de cada trecho para os veículos a e b conforme **quadro 8**:

Quadro 8 – Consumo de combustível por trecho por veículo

Consumo Veículo	A		B		C		D		E		F		G	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
A	x	x	4	2	8	4	14	7	16	8	34	17	60	30
B	4	2	x	x	4	2	18	9	12	6	38	19	64	32
C	8	4	4	2	x	x	22	11	16	8	42	21	68	34
D	14	7	18	9	22	11	x	x	30	15	20	10	46	23
E	16	8	12	6	16	8	30	15	x	x	50	25	76	38
F	34	17	38	19	42	21	20	10	50	25	x	x	26	13
G	60	30	64	32	68	34	46	23	76	38	26	13	x	x

Levantados os dados dos quadros 6,7,8 e 9, segue-se cada passo do algoritmoafim de se encontrar a rota que traga menor custo:

<Início>>

Passo 1: Com base nos dados de posições para os quais o roteamento deve ser elaborado, constrói-se a Rede de Petri pt-Temporizada com blocagem.

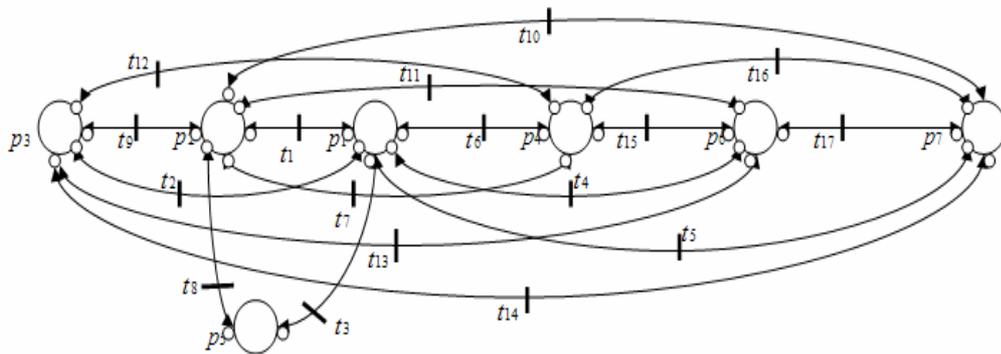


Figura 39 – Rede de Petri pt-Temporizada com blocagem para as cidades do exemplo de aplicação

Passo 2: Constrói-se um quadriculado contendo $n+1$ linhas por $n.j+1$ colunas onde n representa o número de cidades a serem abastecidas incluindo a origem e j representa a quantidade-tipo de veículos a serem utilizados pelo centro de distribuição, no caso do exemplo, $n=7$ pois são 7 cidades a serem atendidas e j a quantidade de tipo de veículos previsto ou seja 2 logo, tem-se 8 linhas e 15 colunas pois temos 7 cidades a serem abastecidas e 2 veículos a serem utilizados.

As j colunas serão agrupadas a partir da primeira coluna seguindo a partir da cidade destino que serão representadas por $Aa, Ba, Ca...$, onde a primeira letra (maiúscula) representa a cidade destino e a segunda letra (minúscula) representa o tipo de veículo a ser utilizado.

Adiciona-se a este quadriculado em sua parte superior, um quadriculado linha, contendo n cidades, defasado de uma coluna em relação ao quadriculado original.

Neste quadriculado serão colocadas as quantidades solicitadas e o tempo estimado de entrega das quantidades solicitadas nas cidades destino.

Passo 3: Divide-se cada célula i do quadriculado num quadriculado associado contendo cinco linhas.

Para que se tenha facilidade maior de cálculos, aloca-se em suas respectivas linhas os valores obtidos nos quadros da seguinte forma:

Na primeira linha aloca-se o custo do transporte da cidade origem para a cidade destino (n para k).

A segunda linha deve ser subdividida em duas partes; na primeira parte após os cálculos aloca-se o custo acumulado e na segunda parte, o custo do retorno acumulado de onde deve se subtrair do custo o custo já incorporado de descarga.

Na terceira linha aloca-se o intervalo de tempo estimado da cidade origem para a cidade destino (n para k).

A quarta linha deve ser subdividida em duas partes onde na primeira parte aloca-se o intervalo de tempo acumulado e na segunda parte o intervalo de tempo acumulado com retorno para verificar a possibilidade ou não de prosseguimento da entrega para outros locais.

Na quinta linha é alocado o volume transportado acumulado que não pode exceder ao volume máximo do veículo. O quadriculado demonstra os passos iniciais a serem seguidos com a indicação das quantidades solicitadas em cada cidade e o tempo de entrega previsto com base no volume a ser entregue, o custo envolvido e o tempo gasto de uma cidade a outra.

Passo 4: Partindo do princípio básico que todas as cidades devem ser atendidas no dia programado atendendo as limitações (II, V e VI), calculam-se as possibilidades de entrega traçando-se segmentos de retas ligando os pontos de origem e destino.

Observação:

Primeiro marca-se os segmentos de reta das respostas triviais, ou seja, aquelas que não geram conflito por serem relativamente óbvias.

Passo 5 : De posse de todas as possibilidades traçadas por segmentos de retas, efetua-se a análise decisória com a construção de uma árvore de enumeração de caminhos na qual são unidas as folhas em comum de modo que os caminhos sejam complementares excluindo-se os caminhos já eliminados por serem triviais, compara-se o custo total obtido pelo somatório das folhas combinadas dos caminhos conectados e colhe-se a combinação de folhas que totaliza o menor custo atendendo a limitação (IV).

Passo 6: Mapeia-se então as rotas por veículos-tipo envolvidos no suprimento do dia calculado.

<< Fim >>

	0 litros 0 h		6 litros 0,1 h		90 litros 1,5 h		12 litros 0,2 h		30 litros 0,5 h		18 litros 0,3 h		120 litros 2 h		
	Aa	Ab	Ba	Bb	Ca	Cb	Da	Db	Ea	Eb	Fa	Fb	Ga	Gb	
A	X	X	7,2	3,6	10,8	5,4	16,8	8,4	20,4	10,2	38,4	19,2	84	42	
			7,2	14,4	3,6	3,6	10,8	10,8	8,4	16,8		19,2/36	38,4/55,2	84	168
	X	X	0,7	0,7	2,4	2,4	1,6	1,6	2,2	2,2	3,2	3,2	7,4	7,4	
			0,7	1,3	0,7	0,6	2,4	3,3	1,6	3		3,2/6,4	6,1/9,3	7,4	12,8
B	7,2	3,6	X	X	7,2	3,6	19,8	9,6	16,8	8,4	42	21	68,4	34,2	
					14,4	25,2		13,2	21,4	24	44,4				
	0,7	0,7	X	X	2,1	2,1	1,8	1,8	1,9	1,9	3,5	3,5	7,7	7,7	
					2,8	3,7		2,5	3,9	2,6	4,3				
C	10,8	5,4	7,2	3,6	X	X	25,2	12,6	20,4	10,2	46,8	23,4	74,4	37,2	
							36	52,8	34,8	55,2					
	2,4	2,4	2,1	2,1	X	X	2,3	2,3	2,2	2,2	3,9	3,9	8,2	8,2	
							4,7	6,5	5/4,6	8,3/6,3					
D	16,8	8,4	19,8	9,6	25,2	12,6	X	X	34,8	17,4	24	12	50,4	25,2	
									126/120						
	1,6	1,6	1,8	1,8	2,3	2,3	X	X	3,4	3,4	2	2	6,2	6,2	
												4,5	8,1		
E	20,4	10,2	16,8	8,4	20,4	10,2	34,8	17,4	X	X	56,4	28,2	81,6	40,8	
	2,2	2,2	1,9	1,9	2,2	2,2	3,4	3,4	X	X	4,7	4,7	8,8	8,8	
F	38,4	19,2	42	21	46,8	23,4	24	12	56,4	28,2	X	X	32,4	16,2	
	3,2	3,2	3,5	3,5	3,9	3,9	2	2	4,7	4,7	X	X	4,7	4,7	
G	84	42	68,4	34,2	74,4	37,2	50,4	25,2	81,6	40,8	32,4	16,2	X	X	
	7,4	7,4	7,7	7,7	8,2	8,2	6,2	6,2	8,8	8,8	4,7	4,7	X	X	

quadro 9 - Quadriculo preenchido com as rotas possíveis

Cria-se então tabelas resumo dos custos acumulados para tomada de decisão com auxílio de uma árvore de enumeração elaborada a partir destes dados.

Vermelho			
Custo Ab	Custo Fb	Custo Ab	Total
	19,2	19,2	38,4

Tabela 4 – Custo acumulado do trajeto Vermelho

Marrom			
Custo Aa	Custo Ga	Custo Aa	Total
	84	84	168

Tabela 5 - Custo acumulado do trajeto Marrom

Lilás			
Custo Aa	Custo Db	Custo Aa	Total
	8,4		8,4

Tabela 6 - Custo acumulado do trajeto Lilás

Verde				
Custo Aa	Custo Ba	Custo Ea	Custo Aa	Total R\$
	7,2	16,8	20,4	44,4

Tabela 7 - Custo acumulado do trajeto Verde

Azul escuro				
Custo Aa	Custo Ca	Custo Ea	Custo Aa	Total
	10,8	20,4	20,4	51,6

Tabela 8 - Custo acumulado do trajeto Azul escuro

Rosa				
Custo Aa	Custo Ca	Custo Da	Custo Aa	Total
	10,8	25,2	16,8	52,8

Tabela 9 - Custo acumulado do trajeto Rosa

Preto					
Custo Aa	Custo Ba	Custo Ca	Custo Ea	Custo Aa	Total R\$
	7,2	7,2	20,4	20,4	55,2

Tabela 10 - Custo acumulado do trajeto Preto

Amarelo				
Custo Ab	Custo Bb	Custo Db	Custo Ab	Total R\$
	3,6	9,6	19,2	44,4

Tabela 11 - Custo acumulado do trajeto Amarelo

Azul claro					
Custo Ab	Custo Db	Custo Ab	Custo Fb	Custo Ab	Total
	8,4	8,4	19,2	19,2	55,2

Tabela 12 - Custo acumulado do trajeto Azul claro

Baseando-se nas tabelas 4,5,6,7,8,9,10,11 e 12, pode-se elaborar uma árvore de enumeração para decidir quais trajetos e veículos deverão ser utilizados.

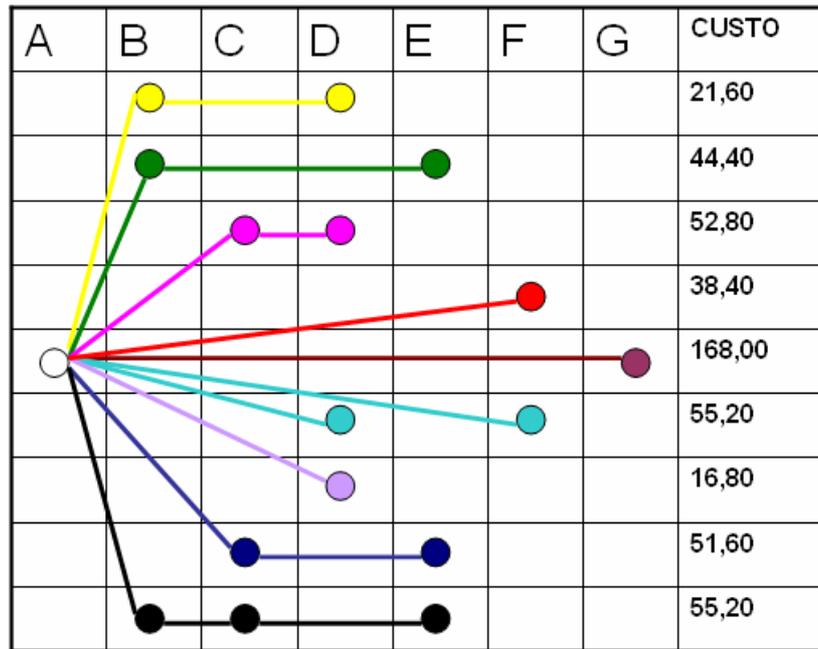


Figura 40 – Árvore de enumeração com possíveis trajetos a serem desenvolvidos

Estudando-se a tabela, por exclusão, podemos montar com facilidade nosso percurso:

1. Observa-se facilmente que o trajeto Marrom que serve a cidade F, será comum a todas as hipóteses.
2. Que só existem três possibilidades para o trajeto vermelho.

3. Associa-se então o trajeto Marrom com os trajetos que o complementam com a finalidade de se obter todas as possibilidades de atendimento de das cidades cooperadas.

As possibilidades encontradas no exemplo de aplicação são listadas a seguir onde vemos que a primeira possibilidade de atendimento de todas as cidades envolveria o trajeto Marrom com um custo de R\$ 168,00 associado ao trajeto Azul Claro com um custo de R\$ 55,20 e ao trajeto Preto com um custo de R\$ 55,20, perfazendo um total de R\$ 278,40.

A segunda possibilidade de trajeto a partir do diagrama de enumeração requer a utilização dos trajetos Verde com um custo de R\$ 44,40, Rosa com um custo de R\$ 52,80, Vermelho com um custo de R\$ 38,40 e Marrom com um custo de R\$ 168,00 totalizando R\$ 303,60.

A terceira possibilidade de atendimento das cidades cooperadas parte também do trajeto Marrom com um custo de R\$ 168,00 associado aos trajetos Amarelo com um custo de R\$ 21,60, Azul escuro com um custo de R\$ 51,60 e Vermelho com custo de R\$ 38,40 totalizando R\$ 279,60.

Já a quarta e última possibilidade de atendimento encontrada a partir do diagrama de enumeração requer a utilização do trajeto Marrom com um custo de R\$ 168,00 associado aos trajetos Vermelho com um custo de R\$ 38,40, Lilás com um custo de R\$ 16,80 e Preto com um custo de R\$ 55,20, totalizando 278,40.

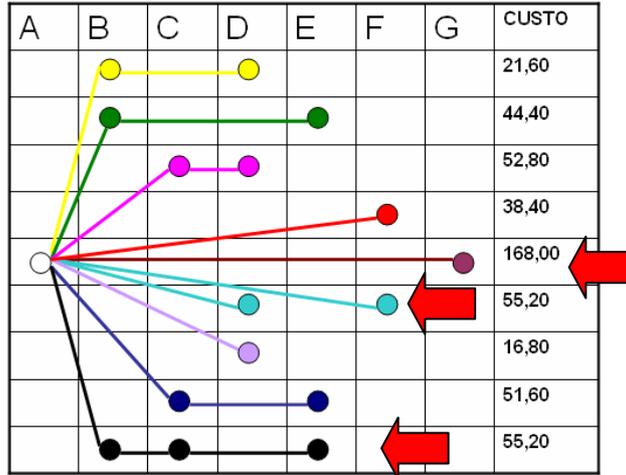


Figura 41 – Primeira possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração

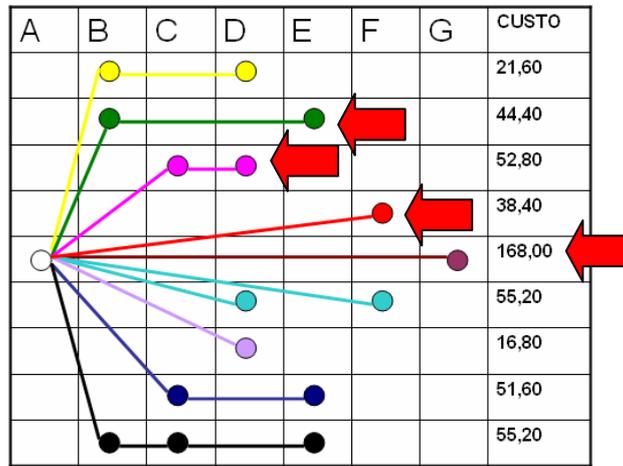


Figura 42 – Segunda possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração

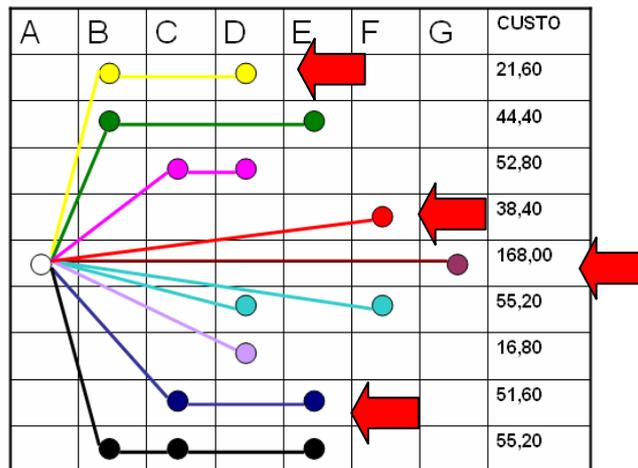


Figura 43 – Terceira possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração

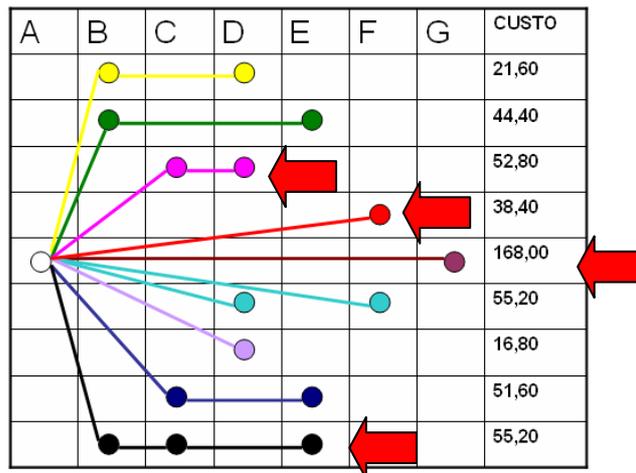


Figura 44 –Quarta possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração

Vale lembrar que para este exemplo não utilizamos restrições relacionadas a número máximo de veículos, de tempo de estrada para o motorista ou carga horária do motorista. Nossa preocupação essencial foi atender às empresas cooperadas em um dia a partir dos pedidos colocados. Pode-se então notar que das seguintes possibilidades:

Possibilidades de Atendimento aos cooperados			
Possibilidade	Custo	Número de veículos a	Número de veículos b
1	R\$ 278,40	2	1
2	R\$ 303,40	3	1
3	R\$ 279,60	2	2
4	R\$ 278,40	2	2

Tabela 13 – Comparativo entre as possibilidades da árvore de enumeração

Com base na *tabela 13* e levando-se em conta somente o fator custo, poderíamos escolher as possibilidades 1 ou 4. Porém, caso tivéssemos qualquer restrição de quantidade de veículos disponíveis, decidiríamos pela utilização da possibilidade 1 que requer uma quantidade menor de veículos para atender os mesmos cooperados.

Constrói-se então a RP colorida para demonstrar de forma clara as rotas a serem adotadas no dia. No caso da escolha da possibilidade 1 ou seja, assumindo que queremos utilizar a menor quantidade de veículos possível:

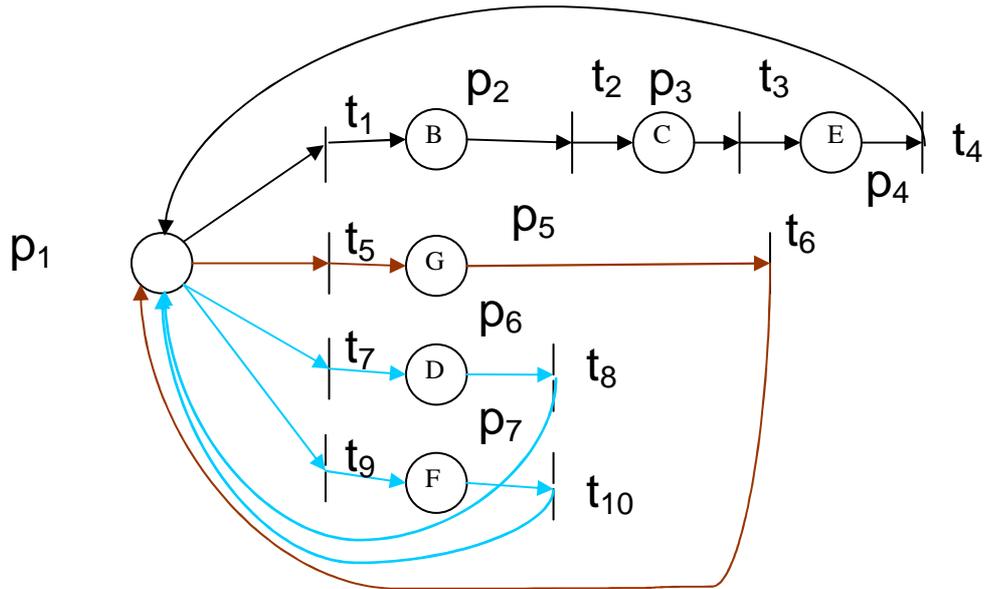


Figura 45 – Entregas a serem realizadas em forma de Rede de Petri colorida

4.4 – One-Day Delivery na Rota Tecnológica BR-459

Para demonstrar a aplicação do algoritmo, deve-se considerar o volume de carga solicitado pelas cidades do *quadro 10* e as distâncias entre as cidades da *figura 46*.

Quadro 10– Volume em litros solicitado em cada cidade

Volume solicitado em Litros		
Santa Rita do Sapucaí	A	300
Pouso Alegre	B	400
Poços de Caldas	C	9
Itajubá	D	150
Cambuí	E	100
Paraisópolis	F	10

As cidades a serem atendidas possuem as distâncias demonstradas na *figura 46* considerando-se as vias de acesso existentes entre elas:

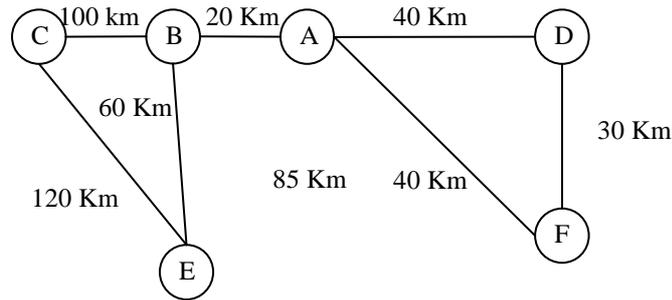


Figura 46 – Distância entre cidades a serem atendidas

Podemos então listar as limitações encontradas:

Máximo volume transportado $|\leq$ Carga do veículo (a,b,...n) (I)

Máximo tempo $|t \leq$ expediente aproximado de uma empresa (8 horas) (II)

Min V |Max v (III)

Onde:

V = Número de veículos

v = Volume transportado

Min C (IV)

Onde:

C = Custo

Capacidade máxima de uma Van denominada veículo a = 1000 litros. (V)

Capacidade máxima de uma Moto denominada veículo b = 20 litros. (VI)

O preço da gasolina utilizado como referência para o cálculo dos custos de R\$ 2,50 que é o preço médio dos postos da Rota Tecnológica no mês de outubro de 2005. O consumo para a composição dos custos de transporte por veículo foram os seguintes:

Van -Veículo a – 8 Km/l

Moto - Veículo b – 20 Km/l

As distâncias mínimas a serem percorridas foram listadas no **quadro 11**:

Quadro 11– Distâncias mínimas a serem percorridas

Distância	A	B	C	D	E	F
A	0	20	100	40	80	40
B	20	0	80	90	60	90
C	100	80	0	140	120	140
D	40	60	140	0	80	30
E	80	60	120	80	0	100
F	40	90	140	30	100	0

Com base nas distâncias mínimas a serem percorridas, pode-se calcular o custo de transporte para cada um dos trechos conforme *Quadro 12*.

Quadro 12 – Custo de transporte para cada cidade

Consumo	A		B		C		D		E		F	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Veículo												
A	0	0	8,75	3,5	43,75	17,5	17,5	7	35	14	17,5	7
B	8,75	3,5	0	0	35	14	39,375	15,75	26,25	10,5	39,375	15,75
C	43,75	17,5	35	14	0	0	61,25	24,5	52,5	21	61,25	24,5
D	17,5	7	39,375	15,75	61,25	24,5	0	0	35	14	13,125	5,25
E	35	14	26,25	10,5	52,5	21	35	14	0	0	43,75	17,5
F	17,5	7	39,375	15,75	61,25	24,5	13,125	5,25	43,75	17,5	0	0

De acordo com o histórico de cada trecho, estimou-se o tempo médio de deslocamento entre um ponto e outro para os veículos a e b conforme *quadro 13*.

Quadro 13 – Estimativa de tempo de deslocamento entre cidades em horas

Tempo	A	B	C	D	E	F
A	0	0,5	2,5	0,75	1,5	0,75
B	0,5	0	1,75	1,5	1,0	1,25
C	2,5	1,75	0	3,25	2,75	3
D	0,75	1,5	3,25	0	2,25	0,5
E	1,5	1,0	2,75	2,25	0	2,25
F	0,75	1,25	3	0,5	2,25	0

Levantados os dados dos *quadros 10, 11, 12 e 13*, seguiu-se cada passo do algoritmo com a finalidade de encontrar as possibilidades de entrega e dentre elas decidiu-se pela pais viável face as limitações financeiras que a cooperativa deve respeitar.

Passo 1:

Com base nos dados de posições para os quais o roteamento deve ser elaborado, construiu-se conforme figura 35.

Construiu-se então o quadrículo conforme passos 2 e 3 do algoritmo e seguindo os passos 5 e 6, observou-se a inexistência de um caso trivial ou de solução óbvia.

Existe entrega a ser feita na cidade A ou seja cidade onde localiza-se a cooperativa. Neste caso o custo de entrega considerado foi R\$ 5,00 e o tempo de entrega equivalente a quantidade de mercadoria.

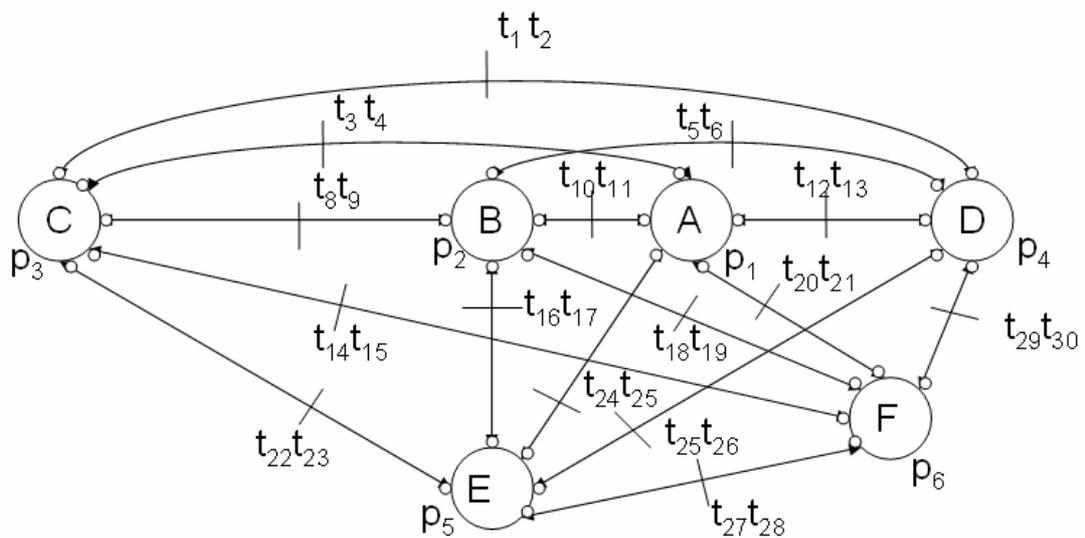


Figura 47 – Rede de Petri pt-Temporizada com bloqueio para as cidades do exemplo de aplicação

1.

300 litros 0,75 h		400 litros 1 h		9 litros 0,25 h		150 litros 0,5 h		100 litros 0,25 h		10 litros 0,25h	
Aa	Ab	Ba	Bb	Ca	Cb	Da	Db	Ea	Eb	Fa	Fb
5	X	8,75			17,5	17,5					7
5		13,7	22,5		17,5	35	17,5	35			14
X	X	0,5			2,5	0,75					0,7
0,75	0,75	1,75	2,25		2,75	1,25					1,75
300		700			9	150					10
		X	X		35			5	26,2		
				48,7	92,5			5/40	0/75		
		X	X	1,75				2,7/3	4/4,5		
				3,75	6,25			500/800			
				709							
				X	X						24,5
											42
											59,5
				X	X						3
											5,75
											6,5
											19
						X	x		35		
								52,5	87,5		
						X	x		2,25		
									3,75		
									250		
						35		X		X	43,75
						75	110				83,7
						2,25			X	X	101
						5,7					2,25
						950					5,5
											25
											810
						13,125					X
						96,8	114				X
							0,5				X
						6,5	7,25				X
						960					X

Quadro 14 - Quadrículo preenchido com as possibilidades de atendimento.

Montou-se então a árvore de enumeração para a tomada de decisão quanto a melhor opção a partir da cooperativa.

A	B	C	D	E	F	Custo
●	●	●	●	●		110,00
●	●	●				92,50
○		●				35,00
○					●	14,00
○			●			35,00
○			●	●		87,50
○		●		●		70,00
○		●			●	59,50
●	●		●	●	●	114,00

Figura 48 – Árvore de enumeração com possíveis trajetos a serem desenvolvidos

As possibilidades encontradas no exemplo de aplicação são listadas a seguir:

A	B	C	D	E	F	Custo
●	●	●	●	●	←	110,00
●	●	●				92,50
○		●				35,00
○					●	14,00
○			●			35,00
○			●	●		87,50
○		●		●		70,00
○		●			●	59,50 ←
●	●		●	●	●	114,00

Figura 49 – Primeira possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração

A primeira possibilidade para atender todas as cidades *figura 48* envolve o trajeto Marrom com um custo de R\$ 59,50 associado ao trajeto Amarelo com um custo de R\$ 110,00. totalizando R\$ 169,50 e a utilização de apenas duas viaturas sendo uma viatura a (Van) e uma viatura b (Moto).

A	B	C	D	E	F	Custo
●	●	—	●	●	←	110,00
●	●	●				92,50
○	—	●	←			35,00
○	—	—	—	—	●	14,00
○	—	—	●			35,00
○	—	—	●	●		87,50
○	—	●	—	●		70,00
○		●	—	—	●	59,50
●	●	—	●	●	●	114,00

Figura 50 – Segunda possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração

A segunda possibilidade de trajeto a partir do diagrama de enumeração requer a utilização dos trajetos Amarelo com um custo de R\$ 110,00, Rosa com um custo de R\$ 14,00 e Vermelho com um custo de R\$ 35,00 totalizando R\$ 159,00. Vale destacar que neste caso serão utilizadas duas motos e uma Van.

Vale lembrar que respostas como estas são intuitivas porém na análise de custo é preciso pesar a viabilidade ou não da adoção de um número maior de viaturas.

A	B	C	D	E	F	Custo
●	●	●	●	●		110,00
●	●	●	←			92,50
○		●				35,00
○					●	14,00
○			●			35,00
○			●	●		87,50
○		●		●		70,00
○		●			●	59,50
●	●		●	●	●	114,00

Figura 51 – Terceira possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração

A terceira possibilidade de atendimento das cidades cooperadas, utiliza o trajeto Verde com um custo de R\$ 92,50 associado aos trajetos Rosa com um custo de R\$ 14,00 e Laranja com custo de R\$ 87,50 totalizando R\$ 194,00.

A	B	C	D	E	F	Custo
●	●	●	●	●		110,00
●	●	●				92,50
○		●	←			35,00
○					●	14,00
○			●			35,00
○			●	●		87,50
○		●		●		70,00
○		●			●	59,50
●	●		●	●	●	114,00

Figura 52 – Quarta possibilidade de atendimento a partir do diagrama de enumeração

A quarta possibilidade de atendimento encontrada a partir do diagrama de enumeração requer a utilização do trajeto Preto com um custo de R\$ 114,00 associado ao trajeto Vermelho com um custo de R\$ 35,00 totalizando 149,00.

Curioso perceber que se utilizando duas viaturas sendo uma Van e uma Moto com uma utilização menor da moto, o que numa primeira análise intuitiva não seria óbvio, conseguiu-se um custo menor de transporte. Vale lembrar que para este exemplo não considerou-se restrições relacionadas ao número máximo de veículos, o tempo de estrada para o motorista ou carga horária do motorista. Nossa preocupação essencial foi atender às empresas cooperadas em um dia a partir dos pedidos colocados. Pode-se então notar que das seguintes possibilidades:

Possibilidades de Atendimento aos cooperados			
Possibilidade	Custo	Número de veículos a	Número de veículos b
1	R\$ 169,50	1	1
2	R\$ 159,00	2	1
3	R\$ 194,00	2	1
4	R\$ 149,00	1	1

Tabela 14 – Comparativo entre as possibilidades da árvore de enumeração

Com base na tabela 14 optou-se pela adoção da possibilidade 4, construiu-se então a RP colorida para demonstrar de forma clara as rotas a serem adotadas no dia.

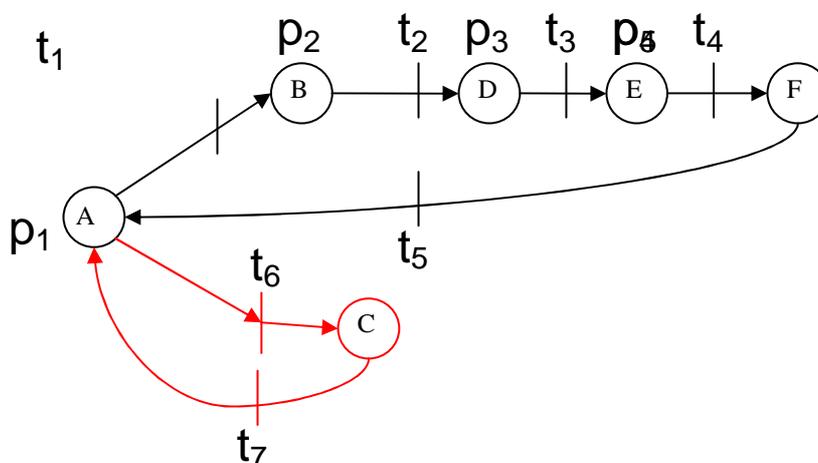


Figura 53 – Entregas a serem realizadas em forma de Rede de Petri colorida

Capítulo 5 – Conclusões e recomendações

5.1 - Conclusões

No decorrer do trabalho, pode se perceber a relevância do tema no tocante ao aumento do poder competitivo das micro e pequenas empresas da Rota Tecnológica BR 459 com a gestão cooperativa da cadeia de suprimentos com foi notória, bem como, a necessidade de desenvolvimento de um algoritmo para a roteirização em face da importância dada ao tema pelas empresas no âmbito global.

No tocante a sugestão da cidade de Santa Rita do Sapucaí para sediar a cooperativa, deve-se concluir que ela se deu devido ao ambiente voltado à eletrônica e tecnologia, sua localização e a sua importância histórica como o maior pólo de eletrônica de Minas Gerais.

A possibilidade de atendimento às micro e pequenas empresas da rota tecnológica em um dia, sem a necessidade de altos investimentos em sistemas computacionais complexos é algo que deve ser visto como uma possibilidade ímpar e inédita de desenvolvimento, podendo acrescentar e muito competitividade às mesmas visto que poder reduzir estoques e conseqüentemente seus custos operacionais para a manutenção dos mesmos.

O algoritmo One-Day delivery desenvolvido mostrou-se eficaz na determinação das rotas que podem atender as empresas pelo que segue:

Percebeu-se após o uso do algoritmo em um exemplo de aplicação na Rota Tecnológica, que a possibilidade demonstrada na *figura 48* que parecia óbvia, foi superada pela possibilidade demonstrada na *figura 51*, mesmo sendo o veículo b (Moto) que é mais econômica que uma Van que efetuar apenas um trajeto na solução escolhida contra dois trajetos na solução superada.

Tal exemplo nos da base para defender a utilização do algoritmo One-Day Delivery neste contexto pois sua fácil utilização poderia sim trazer benefícios à distribuição de componentes ao longo da Rota Tecnologia.

Outra vantagem percebida no exemplo, foi a fácil visualização dos resultados do algoritmo quando expressos com as Redes de Petri coloridas, o que pode facilitar futuros desenvolvimentos de software na área de pesquisa.

5.2 – Recomendações para trabalhos futuros

Durante o trabalho, percebeu-se a possibilidade de desenvolvimento de diversos temas:

- Desenvolvimento de software aberto (ou grátis) para cálculo do roteamento a ser utilizado pela cooperativa com base no algoritmo desenvolvido (One-Day Delivery). A oportunidade de organizar as empresas em cooperativa para a gestão de sua cadeia de suprimentos contemplando desde a fase de importação, controle de qualidade de entrada, armazenagem até a fase de distribuição dos componentes entre as empresas do cluster..
- Organizar as empresas para gestão do desenvolvimento de novos produtos.
- Estudar-se a viabilidade econômica e logística para a instalação de fábricas de componentes eletrônicos na região.
- Desenvolver estudos para a melhoria da logística entre as empresas do cluster, seus fornecedores e seus clientes visando a redução dos prazos de manufatura e entrega.
- Redução do tempo de desembaraço das importações e exportações utilizando os serviços das EADI's (Estação Aduaneiras do Interior), também conhecidas como Porto Seco instaladas em Varginha ou São José dos Campos.
- Análise de viabilidade para implantação de uma EADI na região do cluster.

Referências Bibliográficas

- ALCANTARA GOMES, C. A. Contribuição à Modelagem e Análise de Sistemas de Produção Utilizando Redes de Petri: Com Aplicação à Indústria da Construção Civil. Tese de Doutorado COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1990.
- ALCANTARA GOMES, C. A. Pesquisa Operacional, Apostila. Escola de Engenharia da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 1995.
- ALCANTARA GOMES, C. A. Relatório de Pós-Doutorado. UFSC, Santa Catarina, SC, 1993.
- ALCANTARA GOMES, C.A; QUALHARINI, E. Algoritmo para determinação das marcações viáveis de uma Rede de Petri para sistemas de produção, Engenharia Industrial - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2002.
- ASSAD, A. A. Modeling and implementation issues in vehicle routing. In: Vehicle Routing: Methods and Studies, B.L. Golden, A.A. Assad (eds), North Holland, Amsterdam, p. 7-46. 1998
- ASSAY, A. A. Modeling and implementation issues in vehicle routing. In: Vehicle Routing: Methods and Studies, B.L. Golden, A.A. Assad (eds, North Holland, Amsterdam, p. 7-46), 1988.
- BALLOU, R. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização, e logística empresarial. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BAND, W. Competências Críticas Dez novas Idéias para revolucionar a empresa. Rio de Janeiro; Campus, 1997.
- BARROS, João Paulo M.P.R. CpPNeTS: uma Classe de Redes de Petri de Alto-nível Implementação de um sistema de suporte à sua aplicação e análise. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1996.
- BEAMON, B. Measuring supply chain performance. International Journal of Operations & Production Management, v. 19, n. 3, p. 275-292, 1999.
- BELL, M., E ALBU, M. Knowledge Systems and Technological Dynamism in Industrial Clusters in Developing Countries. World Development vol. 27 n.9, 1998.
- BERGER Paul D, GERSTENFELD A., ZENG A.Z. How many suppliers are best? A decision-analysis approach. – Omega, The international journal of management science n° 32, 2004 page 9-15, 2004.
- BERK J. & BERK S. Administração da Qualidade Total: O Aperfeiçoamento contínuo. Tradução de Cláudia Azevedo e revisão técnica de Antenor Braga Pereira. São Paulo, IBRASA, 1997. 285p. ISBN 85-348-0044-8

BODGAN, R. e BIKLEN, S. (2nd ed.). *Qualitative research for education: An introduction to theory and methods*. Toronto: Allyn and Bacon. Brewer, J. D. (1992). *Ethnography*. Philadelphia, PA: Open University Press. 2000.

BOND, E. *Medição de desempenho para estão da Produçãõ em um cenário de cadeia de suprimentos – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Dissertação de Mestrado, 2002.*

BONOMA, T. *Case Research in Marketing: Opportunities, Problems, and Process*. *Journal of Marketing Research*, Vol XXII, May 1985.

BOWERSOX, D. e CLOSS, D. *Logistical management: the integrated supply chain process*. [S.l.]. McGraw-Hill, 1996, p. 10.

BRANDÃO, Carlos. *Pesquisa participante*. São Paulo, Editora Brasiliense, 1999.

CARRIE, A. *Integrated clusters – the future basis of competition*, *International journal of agile management systems*, 1999 page 45-50

CHRISTOPHER, M. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – estratégias para a redução de custos e melhoria de serviços*. 1ª. edição, São Paulo, Editora Pioneira, 1999.

CLARKE, G. e WRIGHT J. *Scheduling of Vehicles From a Central Depot to a Number of Delivery Points*, *Ops. Res.*12, p.568-581. 1964

COLLINS, R. e PIRES, S. *Outsourcing in the automotive industry: to JIT to modular consortia*. *European Management Journal*, v.15, n.5, oct.1997.

COOPER, M. e GARDNER, J. *Building good business relationships More than just partnering or strategic alliances*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* v.23, n.6, 1993.

COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT; <http://www.clmi.org.br/article> 1 consultado em 03/2004.

COX, A.; SANDERSON, J. e WATSON, G. *Supply chains and power regimes: Toward an analytic framework for managing extended networks of buyer and Supplier relationships*. *The Journal of Supply Chain Management*, v. 37, n. 2, p. 28-35, 2001.

CUNHA, C. *Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais de Transportes*. Dantzig, G.B., *Linear programming and extensions*, Princeton, NJ. Princeton University Press, 2000.

CUNHA, C. *Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais*. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes. 222p. (Tese de Doutorado). 1997

DAVID, R. “Modeling of Dynamic Systems by Petri Nets”, ECC 91 European Control Conference, Grenoble, France, July 2-5 1991.

DAVID, R. e ALLA, H. Petri Nets and Grafcet Tools for modelling discrete event systems, Prentice Hall, 1992.

DAVID, R. e ALLA, H. Petri Nets for Modelling of Dynamic System- A Survey. Automática, vol. 30, n. 2, pp. 175-202, (1994).

ESTATUTO DAS MICRO E PEQUENA EMPRESAS - Lei Federal no. 9.841, de 05 de outubro de 1999

Estatuto das Micro e Pequena Empresas - Lei Federal no. 9.841, de 05 de outubro de 1999

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Cresce Minas: um projeto brasileiro. Belo Horizonte: FIEMG, 2000.

FLEURY, P. Supply chain management: conceitos, oportunidades e desafios de implementação. Tecnológica, n.39, fev.1999

FLEURY, P; WANKE, P. e FIGUEIREDO, K. Logística empresarial: a perspectiva brasileira. São Paulo. Atlas, 2000.

GALIETA A. Dissertação de Mestrado - Uma pesquisa exploratória sobre a utilização de técnicas financeiras pelas micro e pequenas indústrias do setor eletroeletrônico do Vale da Eletrônica. UNIFEI, Itajubá 2003.

GAROFOLI, G. Economic Development, Organization of Production and Territory Revue d'Economie Industrielle n.64, 2eme trimestre 1993

GATTORNA, J. e WALTERS, D. Managing the supply chain: a strategic perspective. London: Macmillan Press, 1996.

GIANNAKIS, M. The history of the development of supply chain management and future direction for building a new academic discipline. In: Proceedings of the European Operations Management Association, 8th International Annual Conference, p.319-332, 2001.

GILLET, B. e MILLER L. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. Operations Research, v.22, p.240-249. 1974

HADDAD, P. Os Clusters produtivos. Estado de Minas Economia. Belo Horizonte, jul.1999.

HALL, R. e PARTYKA J. On the road to efficiency. OR/MS Today, p.38-47, jun/97. 1997

HATONO,I.; YAMAGATA,K. e TAMURA,H. Modeling and Online Scheduling of Flexible Manufacturing Systems Using Stochastic Petri Nets, IEEE Transactions on Software Engineering, volume 17, Issue 2 (February 1991), Pages: 126 – 132,1991.

JENSEN, K. How to Find Invariant for Colored Petri Net, DAIM/PB-120, Aarhus University, Denmark, 1980.

JULIEN, P. Small Businesses as a Research Subject: Some Reflections on Knowledge of Small Businesses and Its Effects on Economic Theory. *Small Business Economics* 5 , 1993.

KALLÁS, E. A cooperação internacional no Pólo Tecnológico de Santa Rita. *Anais do XVIII Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica*. São Paulo – USP, 1994.

KUMAR, D. e Harous, S. “Distributed Simulation of Timed Petri Nets: Basic Problems and Their Resolution”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 24, no.10, October 1994.

LA ROVERE, R.. *As Pequenas e Médias Empresas na Economia do Conhecimento: implicações para políticas de inovação* In: Lastres, H.M.M., e Albagli, S., *Informação e Globalização na Era do Conhecimento*. Rio de Janeiro:Campus, 1999.

LAMBERT, D. *Strategic logistics management*. Homewood. R.D.Irwin, 2003.

LAMBERT, R; COOPER, M. e PAGH. C. *Supply Chain Management: implementation issues and research opportunities*. *The International Journal of Logistics Management*, vol.9, nº 2, 1998.

LAPORTE, G.; GENDREAU, M; POTVIN, J. e SEMET, F. *Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem*, *International Transactions in Operational Research*, v.7, n4/5, p.285-300, 2000

LAU, R. S. M. *Competitive factors and their relative importance in the US electronics and computer industries*. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n. 1, pp. 125-135. 2002.

LE BAIL, J "Sur les réseaux de Petri continus et hybrides," *Thèse de doctorat de l'INPG (Grenoble, France)*, December, 1992 (In French).

LEITE, V. *Gestão do Conhecimento em empresas de Itajubá: um estudo exploratório*. Itajubá, 2001. 120 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá*. Itajubá, 2001

LEVISTKY, J., *Support Systems for SMEs in Developing Countries a Review*. Paper commissioned by the Small and Medium Industries Branch n.2, Small Medium Programmer, UNIDO, 1996.

MARSHALL.A. *Principles of economics* 8th.Ed, London: Macmilan 1920.

MEDEIROS, J. *Pólos, Parques e Incubadoras: a busca da modernização e competitividade*. Secretaria da Ciência e Tecnologia, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Brasília, 1992.

MOALLA et al. *Synchronized Petri Nets: A Model for the Description of Non-Autonomous Systems-Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 64: *Mathematical Foundations of Computer Science* 1978, pages 374-384. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, September 1978.

MOLLOY, M. Performance Analysis Using Stochastic Petri Net. IEEE Transaction on Computer, vol. SE-11, n. 4, sep. (1982).

MURATA, T. "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Proceedings of the IEEE, Vol.77, No. 4, April 1989.

OECD Information Technology (IT) Diffusion Policies for Small and Medium-Sized Enterprises. Paris:OECD, 1995.

PÁDUA et al. O Potencial das Redes de Petri em Modelagem e Análise de Processos de negócio, Revista Gestão e Produção, V11,n.1, p109-119, jan-abr.2004

PALOMINO, R.. Uma Abordagem para a Modelagem, Análise e Controle de Sistemas de Produção Utilizando Redes de Petri - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Florianópolis, Agosto de 1995

PEÇANHA, A. Concepções tradicional e moderna do processo de desenvolvimento de produtos - X SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, SP,20003.

PETERSON, J. "Petri Net Theory and the Modeling of Systems". Prentice-Hall, INC, 1981 290p.

PIRES, S.R.I. (1998 a); Gestão da Cadeia de Suprimentos e o Modelo de Consórcio Modular, Revista de Administração-USP, Vol. 33, No.3.

PIRES, S.R.I. (1998 b); Managerial Implications of the Modular Consortium Model in a Brazilian Automotive Plant, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 18, No. 3.

PORTER, M. Clusters e a nova competição econômica. Harvard Business Review. Boston, v. 76, n. 6, nov./dez. 1998

PORTER, M. Vantagem Competitiva. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

PORTER. M. Competição On Competition. Estratégias Competitivas Essenciais. Rio de Janeiro: Campus, 1999

RAIS – Relatório Anual de Informações Sociais – Ministério do Trabalho e Emprego, 2001.

RANCHANDANI, C. "Analyses of Assynchronous Concurrent Systems by Timed Petri Net", PhD Thesis, MIT, Project MAC TR-120, EUA, 1974.

ROSA, E. e PAMPLONA, E. Parâmetros de Desempenho e a Competitividade dos Sistemas de Manufatura. XV Encontro Nacional de Engenharia de Produção e First International Congress of Industrial Engineering, vol. I p. 521. São Carlos - SP: Setembro de 1995.

SCHMITZ, H.; NADVI, K. Clustering and industrialization: introduction. World Development, v. 27, n. 9, set. 1999.

SEBRAE pesquisa encomendada junto a empresa MCKINSEY & COMPANY. Plano de Desenvolvimento Econômico para o Cluster RT 459 –Projeto Cresce Minas. Belo Horizonte: FIEMG, 1999.

SEBRAE – Pesquisa Panorama - Anprotec XIII Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas, 2003

SLACK, N. Vantagem competitiva em manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais. Trad. Sônia Maria Corrêa. São Paulo: Editora Atlas, 1993.

SLACK, N; CHAMBERS, S. e JOHNSTON, R. Administração da Produção. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOLOMON, M. On the worst-case performance of some heuristics for the vehicle routing and scheduling with time windows constraints. Networks, v.16, p.161-174. 1986

SOUZA, P. Asynchronous organizations for multi-algorithms problems. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, Department of Electrical and Computer Engineering. 139p.(Tese de Doutorado),1993.

SOUZA, P.S. Asynchronous organizations for multi-algorithms problems. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, Department of Electrical and Computer Engineering. 139p. (Tese de Doutorado).1993

STRATI, A. An esthetics and Organization without walls. Studies in culture, Organization and Societies, 1995, p. 83-105

TEIXEIRA, R. Heurísticas para o problema de dimensionamento e roteirização de uma frota heterogênea utilizando o algoritmo Out-of-Kilter, ESCOLA POLITÉCNICA, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2001.

THIOLLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. 7. ed. São Paulo:Cortez, 1996.

VALETTE, R. e SILVA, M. Petri Nets: a tool for Factory Automation November 22, 2004

ZURAWSKI, R; THARAM, Z .e DILLON, S. Specification, verification and performance evaluation of flexible manufacturing systems, IFIP Conference on Computer Applications in Production and Engineering CAPE 89, Tokyo.517-525 1989.