



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo**

**ROBERTA DE BARROS MAGALHÃES SANTOS**

**DESENHO DE REDES DE SUPRIMENTOS  
COM O AUXÍLIO DE PLANILHA ELETRÔNICA  
e SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

**CAMPINAS**

**2018**

**ROBERTA DE BARROS MAGALHÃES SANTOS**

**DESENHO DE REDES DE SUPRIMENTOS  
COM O AUXÍLIO DE PLANILHA ELETRÔNICA  
e SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, na área de Transportes.

**Orientador: Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Junior**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA ROBERTA DE BARROS MAGALHÃES SANTOS E ORIENTADO PELO PROF. DR. ORLANDO FONTES LIMA JUNIOR

ASSINATURA DO ORIENTADOR

---

**CAMPINAS**

**2018**

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** Não se aplica.

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

Santos, Roberta de Barros Magalhães, 1981-  
Sa59d Desenho de redes de suprimentos com o auxílio de planilha eletrônica e  
simulação computacional / Roberta de Barros Magalhães Santos. – Campinas,  
SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Orlando Fontes Lima Júnior.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade  
de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Cadeia de suprimentos. 2. Logística. 3. Planejamento. I. Lima Júnior,  
Orlando Fontes, 1958-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Supply chain network design with the electronic spreadsheet and  
computational simulation

**Palavras-chave em inglês:**

Supply chain

Logistics

Planning

**Área de concentração:** Transportes

**Titulação:** Mestra em Engenharia Civil

**Banca examinadora:**

Orlando Fontes Lima Júnior [Orientador]

Carlos Alberto Bandeira Guimarães

Paulo Sérgio de Arruda Ignácio

**Data de defesa:** 30-05-2018

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**DESENHO DE REDES DE SUPRIMENTOS  
COM O AUXÍLIO DE PLANILHA ELETRÔNICA  
e SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

**ROBERTA DE BARROS MAGALHÃES SANTOS**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Junior

**Presidente e Orientador**

**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP**

Prof. Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães

**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP**

Prof. Dr. Paulo Sergio de Arruda Ignácio

**Faculdade de Ciências Aplicadas - UNICAMP**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 30 de maio de 2018.

## DEDICATÓRIA

À memória da minha mãe e meus avós

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Professor Dr. Orlando Fontes Lima Júnior por sua paciência, disposição, orientação e principalmente amizade.

Ao Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes – LALT por todo o apoio durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores Carlos Alberto Bandeira Guimarães e Diógenes Cortijo Costa, da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, pelas valiosas contribuições a pesquisa durante o exame de qualificação.

Aos funcionários da secretária de Pós-Graduação pela costumeira ajuda e atenção.

À minha família e amigos pela paciência e incentivo ao longo de toda a trajetória.

Ao meu esposo em especial, sem seu amor, compreensão e ajuda a conclusão deste trabalho não seria possível.

A nossa filha, Gabriela, que me enche de amor e inspiração.

*“Difficulties are just things  
to overcome, after all”*

Sir Ernest Shackleton

## RESUMO

Nas últimas décadas as redes de suprimentos tem sido elementos fundamentais da estratégia organizacional das empresas como fonte de vantagem competitiva. Especialistas apontam que cerca de 80% dos custos de uma cadeia de suprimentos estão relacionadas às decisões tomadas com relação à localização das instalações e aos fluxos de abastecimento e distribuição. O objetivo principal desta pesquisa é analisar a tomada de decisão no planejamento do desenho de redes de suprimentos através de modelagem matemática com o auxílio de planilha eletrônica (*software* Microsoft Excel®) e a simulação computacional (*software* anyLogistix™PLE). O processo de modelagem está baseado nas etapas do SNP (*Systematic Networking Planning*). Adota-se este procedimento em função de sua flexibilidade de construção que se adapta as necessidades das organizações de planejar e avaliar cenários de redes de distribuição de forma expedita. Os resultados obtidos com os dois tipos de modelo são similares e demonstram que é viável o desenho de redes de suprimentos através de planilha eletrônica com significativa economia de tempo e recurso financeiro.

**Palavras-chave** – Cadeia de Suprimentos – Logística – Planejamento – Desenho de Redes de Suprimentos

## **ABSTRACT**

In the last decades the supply chain networks have been fundamental elements of the organizational strategy of the companies as source of competitive advantage. Experts point out that about 80% of the costs of a supply chain are related to decisions made regarding the location of facilities and supply and distribution flows. The main objective of this research is to analyze the decision-making in the planning of the supply chain network design through mathematical modeling with the aid of spreadsheet (Microsoft Excel® software) and computer simulation (anyLogistix™PLE software). The modeling process is based on the steps of Systematic Networking Planning (SNP). This procedure is adopted based on its construction flexibility, which adapts to the needs of organizations to plan and evaluate distribution network scenarios expeditiously. The results obtained with the two types of model are similar and demonstrate that the design of supply chain networks through spreadsheets with significant time and financial resources savings is feasible.

**Keywords** – Supply Chain – Logistics – Planning – Supply Chain Network Design

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – População Pet no Brasil em 2013.....	19
Figura 2 – População Pet Mundial em 2013.....	19
Figura 3 – Faturamento do Mercado Mundial Pet em 2016.....	20
Figura 4 – Faturamento do Mercado Brasileiro Pet em 2016. ....	20
Figura 5 – Exemplo da Cadeia de Suprimentos com três elos .....	22
Figura 6 – Funções objetivas do Desenho de Redes sob diferentes paradigmas da Cadeia de Suprimentos.....	23
Figura 7 – Tetraedro de Desempenho.....	26
Figura 8 – Compensações gerais nos custos/receitas em vários níveis dos serviços logísticos ao cliente.....	26
Figura 9 – Relação entre número de instalações e custo da instalação .....	27
Figura 10 – Relação entre número de instalações e custo de estoque .....	27
Figura 11 – Relação entre número de instalações e custo de transporte .....	28
Figura 12 – Variação em custos logísticos totais e nível de serviço conforme o número de instalações.....	29
Figura 13 - Modelo para decisões de desenho de rede de suprimentos.....	33
Figura 14 – Processo de Desenvolvimento da Rede de Suprimentos.....	35
Figura 15 – Planejamento Sistemático de Redes (SNP).....	40
Figura 16 – Estágios em uma rede de suprimentos .....	46
Figura 17 – <i>Software</i> Microsoft Excel® .....	49
Figura 18 – Elementos do Sistema. ....	53
Figura 19 – Processos-chave em Estudo de Simulação Computacional. ....	55
Figura 20 – Evolução das Ferramentas e Fornecedores. ....	58
Figura 21 – Exemplo do <i>software</i> Supply Chain Guru® .....	61
Figura 22 – Exemplo do <i>software</i> anyLogistix™ .....	63
Figura 23 – Fluxograma de Etapas da Pesquisa .....	64
Figura 24 – Fluxograma SNP .....	66
Figura 25 – Fluxograma do modelo de Otimização .....	67
Figura 26 – Fluxograma da Simulação com o anyLogistix™ PLE.....	69
Figura 27 – Localização das Fábricas e Centros de Distribuição em 2020.....	74
Figura 28 – Dispersão dos Volumes de Vendas no Brasil em 2020.....	74
Figura 29 - Dispersão dos clientes no Brasil em 2020 .....	76
Figura 30 - Localização e representatividade por volume dos principais clientes ( <i>Key Accounts</i> ) em 2020 .....	76
Figura 31 – Parâmetros do Solver® .....	81

Figura 32 – Visualização simplificada da Rede no anyLogistix™ PLE .....	83
Figura 33 – Resultado gráfico do modelo de otimização da rede .....	86
Figura 34 – Resultado gráfico do modelo de simulação da rede.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de Alíquotas de ICMS nas Operações Interestaduais .....	31
Tabela 2 – Classificação de abordagens de simulação para redes logísticas e produção .....	52
Tabela 3 – Parâmetros do anyLogistix™ .....	71
Tabela 4 – Tipos de Resultados do anyLogistix™ .....	71
Tabela 5 – Volumes projetados para 2020 em toneladas .....	75
Tabela 6 – Capacidade de Produção Anual das Fábricas .....	77
Tabela 7 – Capacidade de Expedição e Custo Anual dos Centros de Distribuição.....	77
Tabela 8 – Demanda anual das duas Famílias de Produto pelas Regiões de Demanda no Brasil .....	78
Tabela 9 – Custos Unitários de Transporte para Transferência.....	78
Tabela 10 – Custos Unitários de Transporte para Distribuição.....	79
Tabela 11 – Decisão de Abertura ou Fechamento dos Centros de Distribuição .....	85
Tabela 12 – Custo Total Anual da Nova Rede de Suprimentos sem ICMS.....	85
Tabela 13 – Custo Total Anual da Nova Rede de Suprimentos com ICMS .....	86
Tabela 14 – Resultados do modelo no anyLogistix™PLE .....	87
Tabela 15 – Análise comparativa das ferramentas .....	88
Tabela 16 – Análise comparativa dos resultados da modelagem computacional.....	89
Tabela 17 – Análise comparativa do potencial de aplicação.....	89

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais diferenças entre o procedimento SNP Total e SNP Simplificado .....	41
Quadro 2 – Principais diferenças entre as três técnicas para o desenho de redes de suprimentos .....	42
Quadro 3 - Abordagens de simulação versus nível de abstração .....	51
Quadro 4 - Comparativo das versões do <i>software</i> anyLogistix™ .....	62

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1. OBJETIVO E ABRANGÊNCIA DO TRABALHO .....	16
1.2. RELEVÂNCIA DO TEMA.....	16
1.3. O SETOR DO ESTUDO DE CASO .....	18
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	21
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>22</b>
2.1. CADEIA DE SUPRIMENTOS .....	22
2.1.1. NÍVEL DE SERVIÇO LOGÍSTICO .....	25
2.1.2. CUSTO LOGÍSTICO .....	26
2.1.3. ASPECTOS TRIBUTÁRIOS BRASILEIROS.....	30
2.2. DESENHO DE REDES DE SUPRIMENTOS .....	32
2.2.1. TÉCNICA A - MODELO DE DECISÕES PARA DESENHO DE REDES DE SUPRIMENTOS.....	32
2.2.2. TÉCNICA B - PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE REDE DE SUPRIMENTOS .....	34
2.2.3. TÉCNICA C - PLANEJAMENTO SISTEMÁTICO DE REDES (SNP).....	37
2.2.4. COMPARATIVO DAS TÉCNICAS PARA O DESENHO DE REDES DE SUPRIMENTOS .....	42
2.3. MODELOS DE REDES DE SUPRIMENTOS.....	43
2.4. PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA .....	44
2.5. MÉTODOS DE SIMULAÇÃO .....	50
2.6. ANÁLISE COMPARATIVA DOS <i>SOFTWARES</i> PARA DESENHO DE REDES DE SUPRIMENTOS .....	56
<b>3. MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>64</b>
3.1. PLANEJAMENTO SISTEMÁTICO DE REDES (SNP) .....	65
3.2. PLANILHA ELETRÔNICA.....	66
3.3. <i>SOFTWARE</i> ANYLOGISTIX™ PLE.....	68
3.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	72
<b>4. APLICAÇÃO PRÁTICA .....</b>	<b>73</b>
4.1. ORIENTAÇÃO DO PROJETO: CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	73
4.2. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	75
4.3. MODELAGEM EM PLANILHA ELETRÔNICA: OTIMIZAÇÃO .....	79
4.4. MODELAGEM NO ANYLOGISTIX™ PLE: SIMULAÇÃO .....	82
4.5. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	84
4.5.1. RESULTADOS DA PLANILHA ELETRÔNICA .....	85
4.5.2. RESULTADOS DO ANYLOGISTIX™ PLE .....	87
4.5.3. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS .....	88
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>90</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>

<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>98</b>
7.1. ANEXO I - FORMULÁRIO DE ORIENTAÇÃO E PROBLEMAS .....	98
7.2. ANEXO II - FOLHA DE RESUMO DAS VARIÁVEIS .....	99
7.3. ANEXO III - FORMULÁRIO DE VALIDAÇÃO DE REFERÊNCIA .....	100
7.4. ANEXO IV - FOLHA DE RESUMO DE CENÁRIO.....	101
7.5. ANEXO V - FORMULÁRIO DE ANÁLISE DE ALTERNATIVAS .....	102
7.6. ANEXO VI - FORMULÁRIO DETALHE E FAÇA.....	103
7.7. ANEXO VII – TABELAS DO BANCO DE DADOS ANYLOGISTIX <sup>TM</sup> PLE .....	104

## 1. INTRODUÇÃO

O desenho de redes de suprimentos é uma questão fundamental no planejamento estratégico das empresas nacionais e multinacionais. As decisões envolvem investimentos significativos e possuem impactos consideráveis sobre os custos e a competitividade da cadeia de suprimentos.

### 1.1. Objetivo e Abrangência do Trabalho

O objetivo principal desta pesquisa é analisar a tomada de decisão no planejamento do desenho de redes de suprimentos através de modelagem matemática com o auxílio de planilha eletrônica (*software* Microsoft Excel<sup>®</sup>) e a simulação computacional (*software* anyLogistix<sup>TM</sup>PLE). Os modelos representam um instrumento de análise estratégica que possibilita o desdobramento para os planos táticos e operacionais das atividades logísticas das empresas.

Os objetivos secundários são:

- Analisar o procedimento no *software* Microsoft Excel<sup>®</sup>
- Analisar o procedimento no *software* de simulação anyLogistix<sup>TM</sup>PLE
- Comparar os resultados obtidos
- Identificar oportunidades para tomada de decisão

### 1.2. Relevância do Tema

Ballou (2006) estima que um bom desenho de redes de suprimentos pode reduzir os custos operacionais de uma empresa na ordem de 5 a 15%, visto que influenciam as estratégias de gestão de estoques, transportes e conseqüentemente, o nível de serviço ao cliente.

As decisões de desenho de rede de suprimentos incluem, além da localização das instalações, a atribuição do seu papel na rede, sua capacidade e mercado a ser atendido. Para Chopra e Meindl (2010) as decisões podem ser:

1. Definir o papel das instalações: Determinar quais papéis cada instalação desempenhará e quais processos serão realizados em cada uma das instalações são decisões significativas, pois determinam a flexibilidade da cadeia suprimentos em atender à demanda.
2. Localizar as instalações: A localização de instalações exerce um impacto de longo prazo no desempenho da cadeia de suprimentos, pois é muito dispendioso

fechar ou mudar uma instalação. E uma boa decisão sobre localização pode ajudar uma empresa a ser responsiva enquanto mantém seus custos baixos.

3. Alocar a capacidade: Decisões sobre capacidade tendem a permanecer imutáveis por vários anos. Alocar capacidade excessiva a uma instalação, resulta em má utilização e custos mais altos. Caso seja pouca capacidade resulta em baixa responsividade à demanda.

4. Alocar os mercados e fornecedores: Também impacta diretamente o desempenho da cadeia de suprimentos porque afetam os custos totais de produção, estoque e transporte para atender a demanda.

A pesquisa se concentrará na localização dos centros de distribuição porque dentre os vários tipos de instalações que podem ser tratados no desenho de redes de suprimentos, como fábricas, centros de distribuição e terminais de transporte, Ballou (2006) destaca que os centros de distribuição são os mais importantes. Eles aparecem com maior frequência nas decisões que devem ser tomadas pelos gerentes e diretores de Cadeia de Suprimentos e Logística.

Recentemente tornou-se cada vez mais claro que o desenho de redes de suprimentos deve considerar uma abordagem mais ampla, considerando não apenas as variáveis de logística tradicionais (distâncias, volumes e custos de transporte), mas também outras variáveis intervenientes (infraestrutura, aspectos sociais e ambientais, questões tributárias e custos de estoques).

Wanke (2001) destaca que a maior parte da modelagem computacional existente para a localização dos centros de distribuição falha ao não incluir os custos de estoques como um componente de sua função objetivo. Miranda e Garrido (2004) afirmam que questões como a política de estoques não podem ser negligenciadas nas decisões estratégicas das redes de suprimentos.

Klibi, Martel e Guitouni (2010) e Georgiadis et al (2011) destacam a importância de um processo abrangente para o desenho de redes de suprimentos, que considere a modelagem das incertezas, disponibilidade de fontes de dados e avaliação de riscos. Dentre as decisões estratégicas, Nagurney (2010) e Georgiadis et al (2011) mencionam o tamanho, quantidade, atribuição e localização de instalações relacionadas à manufatura, armazenamento ou transporte, e da alocação de capacidade e mercados. E Farahani et al (2014) ressalta algumas decisões táticas e operacionais, como distribuição e políticas de gerenciamento de inventário e atendimento dos pedidos dos clientes.

No Brasil, Yoshizaki (2002) demonstra como o impacto fiscal devido ao Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) pode alterar substancialmente a eficácia das decisões do desenho de redes de suprimentos.

Para Ballou (2006), os modelos de localização das instalações deveriam ser continuamente acessíveis aos gerentes e planejadores de logística ou cadeia de suprimentos para serem empregados no planejamento tático e orçamentário, ao invés de apenas utilizados no planejamento estratégico.

Tal visão é compartilhada por Chopra e Meindl (2010), para os autores as decisões de desenho de rede de suprimentos devem ser revistas à medida que uma empresa cresce ou quando duas empresas se unem. Em decorrência das redundâncias e diferenças em mercados atendidos por uma das empresas, a consolidação de instalações ou a mudança de sua localização ou papel na rede poderia ajudar a reduzir custos ou melhorar a responsividade.

A busca pelo projeto de rede de suprimentos mais adequado é uma tarefa complexa que demanda das organizações tempo e recursos (BALLOU, 2006) que para coleta dos dados necessários, o desenvolvimento dos modelos computacionais, elaboração de cenários e análise dos resultados.

Nos últimos anos diversas ferramentas comerciais foram desenvolvidas especificamente para responder a necessidade das organizações no desenvolvimento de soluções de projetos de redes de suprimentos (Ballou 2006, Funaki, 2009).

A maioria destas ferramentas emprega uma modelagem computacional que busca representar a rede de suprimentos através de demonstrações algébricas e lógicas manipuláveis em computador utilizando técnicas de programação matemática como a Programação Linear, Programação Linear Inteira e Mista.

Porém como destacam Almeder, Preusser e Hartl (2009), além das abordagens de programação matemática podem ser empregadas técnicas de simulação computacional para o projeto de redes de suprimentos. Conforme destaca Funaki (2009) a maioria das ferramentas comerciais disponibilizam as duas abordagens (otimização e simulação computacional), que podem ser empregadas de forma complementar.

### **1.3. O Setor do Estudo de Caso**

O setor econômico escolhido para a aplicação prática da pesquisa foi o de alimentação devido a sua representatividade no cenário nacional, que equivale a 10,1% do

Produto Interno Bruto Brasileiro (PIB - Brasil) em 2016, segundo dados da ABIA (Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação).

A pesquisa aborda especificamente uma indústria do subsetor de alimentação animal. De acordo com dados da ABINPET (Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação) de 2013, o Brasil é o quarto país no mundo em população de animais de estimação, com uma população estimada de 132,4 milhões de animais do 1,56 bilhão da população mundial. E o segundo maior quando se referem apenas a cães, gatos, aves canoras e ornamentais.

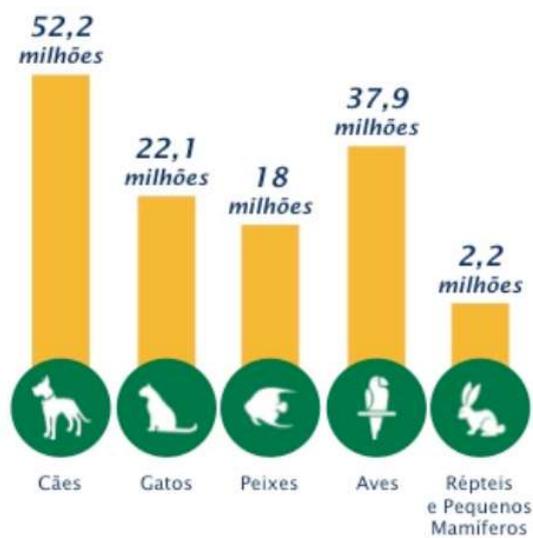


Figura 1 – População Pet no Brasil em 2013

Fonte: Abinpet (2017)

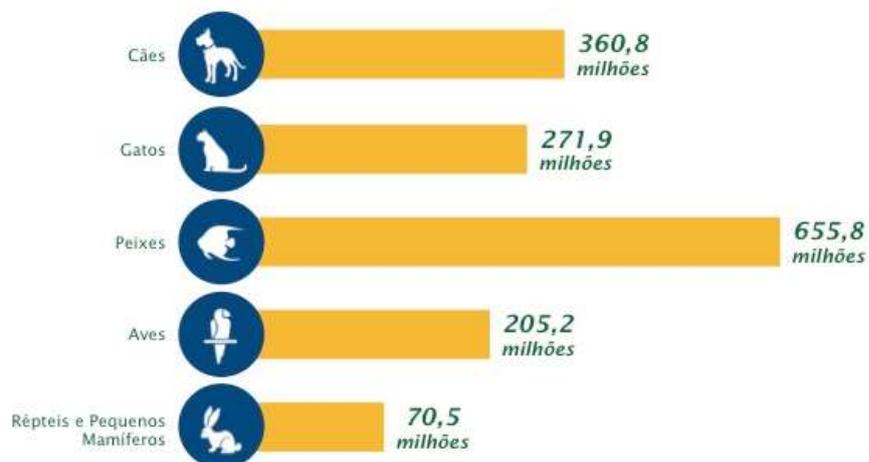


Figura 2 – População Pet Mundial em 2013

Fonte: Abinpet (2017)

Em termos de faturamento, o país ocupa a terceira posição em relação ao mercado mundial de US\$ 105,3 bilhões conforme ilustrado na Figura 3, ficando atrás apenas dos EUA e Reino Unido. O dólar médio considerado em 2016 pelo Banco Central foi US\$ 1 = R\$ 3,49.

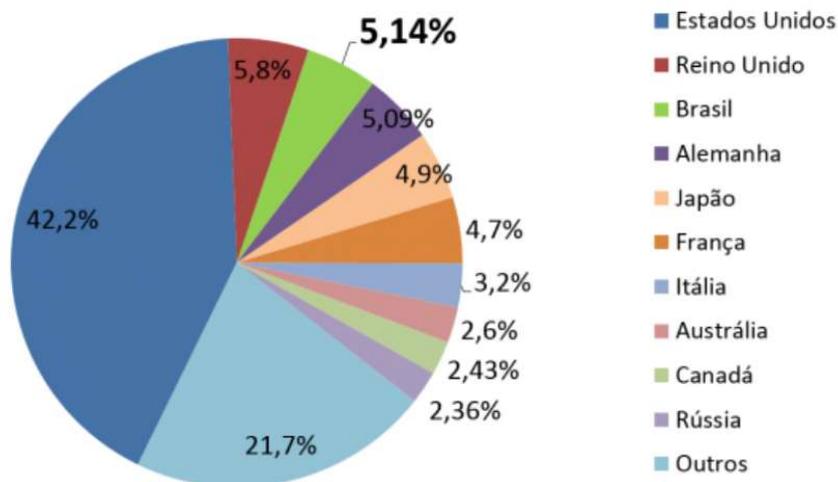


Figura 3 – Faturamento do Mercado Mundial Pet em 2016.

Fonte: Abinpet (2017)

As vendas de produtos voltados para alimentação dos animais de estimação continuam representando a maior fonte de receita, ocupando em 2016 o percentual de 67,3% do faturamento do setor conforme mostra a Figura 4.

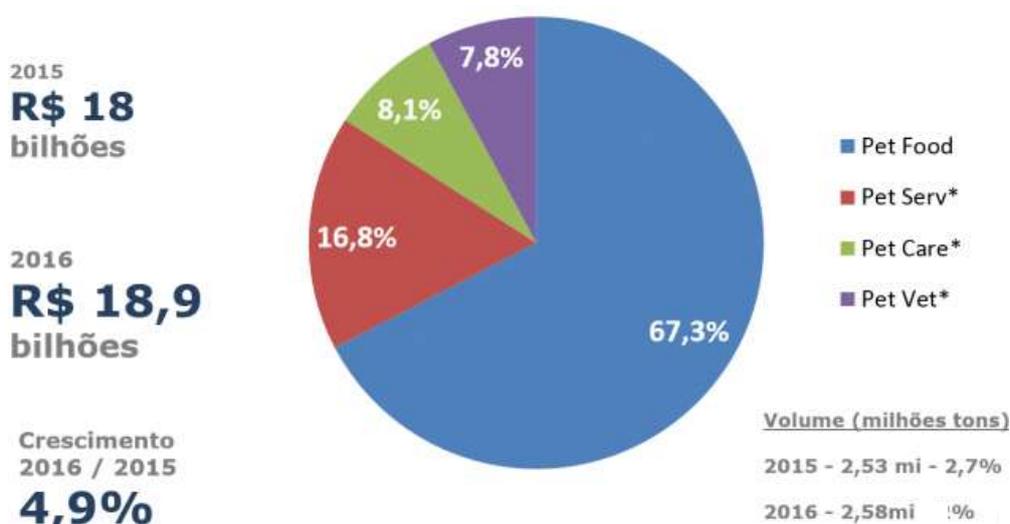


Figura 4 – Faturamento do Mercado Brasileiro Pet em 2016.

Fonte: Abinpet (2017)

O mercado de pet no Brasil cresceu em 2016/2015 o percentual de 4,9% frente a recessão do PIB de 3,6% em 2016 e 3,8% em 2015. Esse mercado movimentou em 2016 no Brasil um montante equivalente a 0,36% do PIB, número superior a setores como os de componentes elétricos e eletrônicos e de automação industrial.

#### **1.4. Estrutura do Trabalho**

O trabalho está estruturado em cinco capítulos como descrito a seguir. O capítulo um introduz o estudo, contextualiza a pesquisa e apresenta o objetivo do trabalho, bem como sua estrutura de desenvolvimento.

O capítulo dois apresenta a revisão da literatura desenvolvida, que contém os conceitos fundamentais para o desenvolvimento do trabalho. São discutidos nesse capítulo os conceitos de cadeias de suprimentos, abordagens para o desenvolvimento de projetos de redes de suprimentos, métodos de modelagem computacional, bem como as variáveis e fatores influentes do projeto de redes de suprimentos.

O método de pesquisa proposto e seus conceitos são descritos no terceiro capítulo deste trabalho. Os passos para o desenvolvimento de um projeto de desenho de redes de suprimentos baseados na abordagem de Planejamento Sistemático de Redes (SNP - *Systematic Networking Planning*) são detalhados.

O capítulo quatro apresenta o desenvolvimento do método proposto para um caso prático. E o quinto e último capítulo apresenta as conclusões e recomendações do trabalho.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura sobre o tema. Foram identificados na literatura diferentes trabalhos que abordam questões relativas à cadeia de suprimentos, modelos para localização de instalações e alocação de capacidade e estoque, *softwares* para modelagem de redes logísticas, construindo assim o referencial teórico necessário para o desenvolvimento desta pesquisa.

### 2.1. Cadeia de Suprimentos

A cadeia de suprimentos, também referenciada como rede logística, é composta por diversos tipos de instalações, como fornecedores, fábricas, centros de distribuição, distribuidores, terminais de carga, lojas e dentre outros. Exemplo simplificado de uma cadeia de suprimentos é apresentado na Figura 5.

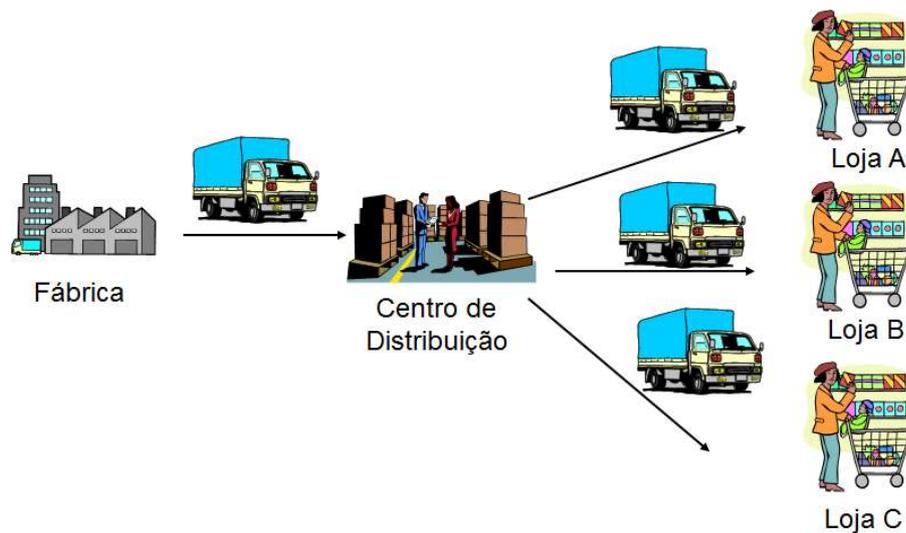


Figura 5 – Exemplo da Cadeia de Suprimentos com três elos

Fonte: Ballou (2006)

A cadeia de suprimentos é um sistema dinâmico que evolui ao longo do tempo de acordo com Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003). A demanda dos clientes e capacidade dos fornecedores ou fabricantes podem oscilar no decorrer dos anos, bem como os relacionamentos entre os elos da rede.

Diversos fatores influenciam as decisões do desenho de redes de suprimentos de acordo com Chopra e Meindl (2010):

- Estratégicos: é importante identificar a missão de cada instalação ao projetar sua rede global.

- Tecnológicos: quais são as tecnologias de produção disponíveis e seus respectivos custos.
- Políticos: a estabilidade política do país, onde as regras de comércio e propriedade sejam bem definidas.
- Infraestrutura: os principais elementos considerados são disponibilidade de locais e mão de obra, acesso a rodovias, proximidade a terminais de transporte, congestionamento e serviços públicos.
- Competitivos: as empresas precisam considerar a estratégia, tamanho e localização dos concorrentes. A forma de competição e fatores como matéria-prima ou disponibilidade de mão de obra especializada influenciam a localização.

Segundo Farahani et al (2014) e Baghalian et al (2013), há muitos modelos na literatura sobre desenho de redes de suprimentos e diferentes decisões são tomadas. Sendo talvez as mais importantes, a questão da localização das instalações nos diversos elos ou camadas da cadeia de suprimentos. No entanto, as funções objetivas normalmente são monetárias, como por exemplo minimizar o custo total ou maximizar o lucro. Recentemente surgiram novos conceitos na cadeia de suprimentos conforme ilustrado na Figura 6.

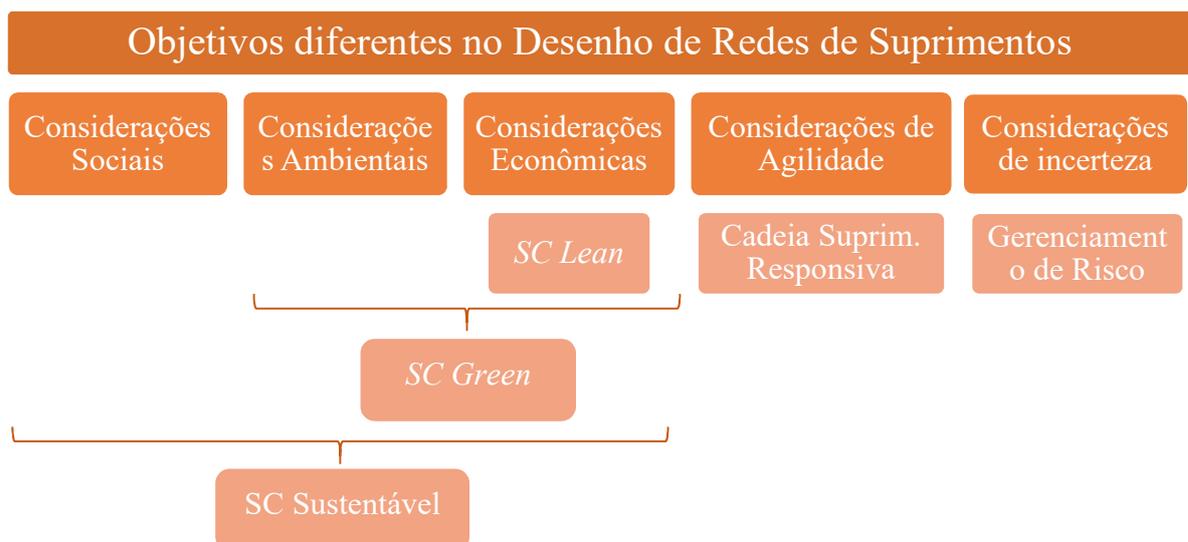


Figura 6 – Funções objetivas do Desenho de Redes sob diferentes paradigmas da Cadeia de Suprimentos

Fonte: Farahani et al (2014)

O conceito da cadeia de suprimentos enxuta foi desenvolvido a partir da filosofia do sistema de produção enxuta, que se concentra na eliminação de atividades, recursos e processos que não agreguem valor. A principal preocupação da cadeia de suprimentos enxuta de acordo com Farahani et al (2014) é a consideração econômica com foco em minimizar os custos globais da cadeia de suprimentos. Portanto, nesta área recomenda considerar apenas funções objetivas econômicas.

Com a união da filosofia do gerenciamento da cadeia de suprimentos e do conceito de fabricação ágil foi desenvolvido o conceito de cadeia de suprimentos ágil ou responsiva. Onde segundo Farahani et al (2014), as demandas crescentes e efêmeras dos clientes são respondidas com flexibilidade através da redução do tempo de atendimento oriundas de novas estratégias, tecnologias e uma rede colaborativa de parceiros.

A cadeia de suprimentos possui diferentes grupos de riscos, como por exemplo atraso, imprecisão em previsões, falhas na aquisição, interrupção, avarias de sistemas, violações de propriedade intelectual e problemas com capacidade e inventário conforme Farahani et al (2014) e Chopra e Sodhi (2004). Qualquer um dos riscos mencionados ameaça o desempenho geral das cadeias de suprimentos e necessitam ser gerenciados através da concepção de uma rede robusta e gerenciamento eficiente do fluxo de produtos.

A Cadeia de Suprimentos Verde pode ser conceituada como a integração ambiental na cadeia de suprimentos, incluindo a concepção do produto, a procura e a seleção de material, os processos de fabricação, a entrega do produto final aos consumidores e a gestão do produto após o término do seu ciclo de vida (Srivastava, 2007).

Com a globalização de produtos e serviços, as distâncias entre os nós nas redes das cadeias de suprimentos cresceram consideravelmente.

A Comissão sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (*World Commission on Environment and Development - WCED*) define sustentabilidade como a utilização dos recursos fornecidos de forma que a capacidade da geração futura de satisfazer as suas necessidades não seja comprometida.

A Cadeia de Suprimentos Sustentável de acordo com Farahani et al (2014), pode ter um papel significativo na preservação dos recursos naturais para as próximas gerações. As redes das cadeias de suprimentos estão diretamente relacionadas com os processos de fabricação, movimentação e distribuição de produtos, que normalmente consomem muitos recursos.

### **2.1.1. Nível de Serviço Logístico**

As medidas de desempenho são métricas usadas para quantificar a eficácia e eficiência das ações, sendo partes integrantes do ciclo de planejamento-execução-avaliação-controle/ação, essencial para a gestão de qualquer organização segundo Corrêa (2010). Bowersox et al (2013) afirma que o nível de serviço corresponde à meta de desempenho especificada pela administração e que em geral é medido pelo tempo que dura o ciclo de um pedido, pela proporção de atendimento.

O nível de serviço é um dos fatores competitivos mais importantes das empresas nos dias atuais conforme destaca Bernstein e Federgruen, 2007; Tsay e Agrawal, 2000; Boyaci e Gallego, 2005; Xiao e Yang, 2008. De acordo com Corrêa (2010), o nível de serviço logístico ao cliente refere-se ao resultado dos processos de gestão da cadeia de suprimentos de criarem valor de local e tempo ao cliente.

Farahani e Elahipanah (2008) ressaltam que satisfazer as demandas dos clientes no prazo levará à redução de custos e aumentará o nível de serviço da cadeia de suprimentos. No entanto, é importante lembrar que em muitas situações, os clientes têm necessidades diferentes em relação ao nível de serviço e por isso não deveriam ser tratados de forma igual.

Baghalian et al (2013) argumenta que o nível de serviço das empresas melhora quanto aumenta-se o nível de inventário, porém também se aumenta o risco de obsolescência dos produtos. O nível de serviço geralmente é considerado por unidade extra de produto e custos de falta nos sistemas de inventário. As características probabilísticas destes custos e suas complexidades nos modelos matemáticos não podem ser ignoradas no conjunto de custos operacionais nos desenhos de redes de suprimentos.

Também não pode se ignorar o desempenho dos serviços de transporte de cargas. Segundo Lima Jr (2001), há quatro atores diretos neste processo: os provedores de recursos (os fornecedores das empresas de transporte e os funcionários), o transportador, seus concorrentes e os consumidores, além de atores indiretos como o governo e a sociedade, conforme ilustrado pelo tetraedro da Figura 7. As relações entre esses atores diretos e sua respectiva importância dependem de cada empresa devido à estrutura econômica dos mercados em que atuam.

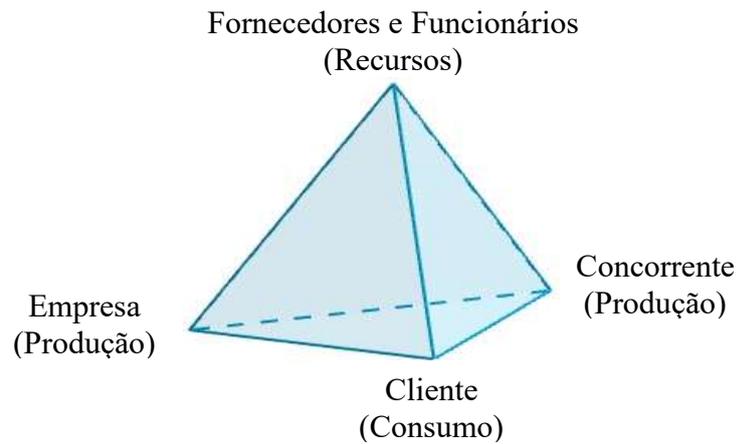


Figura 7 – Tetraedro de Desempenho

Fonte: Lima Jr (2001)

### 2.1.2. Custo Logístico

Segundo Ballou (2006) há muitas alternativas de custos de sistema logístico para cada nível de serviço. À medida que os níveis de atividades logísticas são incrementados para corresponder ao crescimento dos níveis dos serviços ao cliente, os custos aumentam em ritmo exponencial, conforme ilustrado na Figura 8.

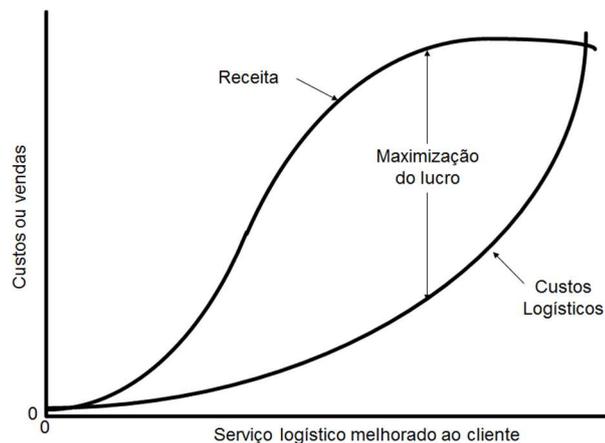


Figura 8 – Compensações gerais nos custos/receitas em vários níveis dos serviços logísticos ao cliente.

Fonte: Ballou (2006)

É importante destacar na Figura 8 o momento que os custos logísticos ultrapassam a receita, demonstrando o momento de interrompe-los. O gestor da Cadeia de Suprimentos

precisa ter claro que às vezes um pequeno aumento no nível de serviço significa um grande aumento nos custos logísticos.

Chopra e Meindl (2010) afirmam que existem custos fixos e variáveis associados as instalações, estoques e transportes conforme ilustrado respectivamente nas Figuras 9, 10 e 11. Os custos fixos ocorrem independentemente da quantidade de produto armazenados ou fabricados. E os custos variáveis dependem diretamente do volume movimentado ou produzido a partir de uma instalação.

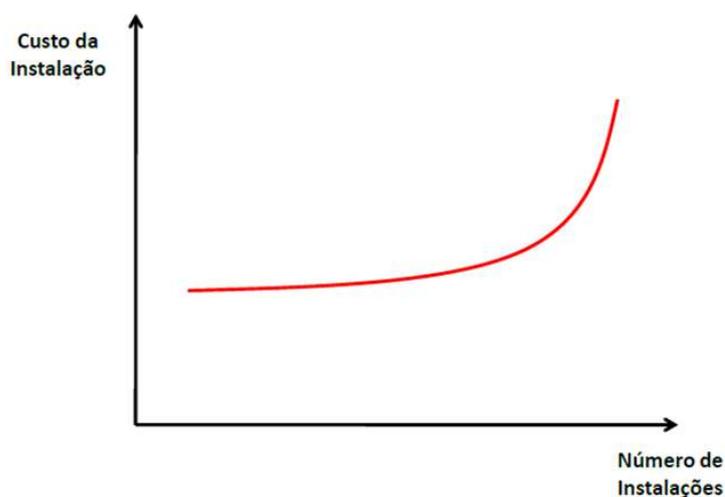


Figura 9 – Relação entre número de instalações e custo da instalação

Fonte: Chopra e Meindl (2010)

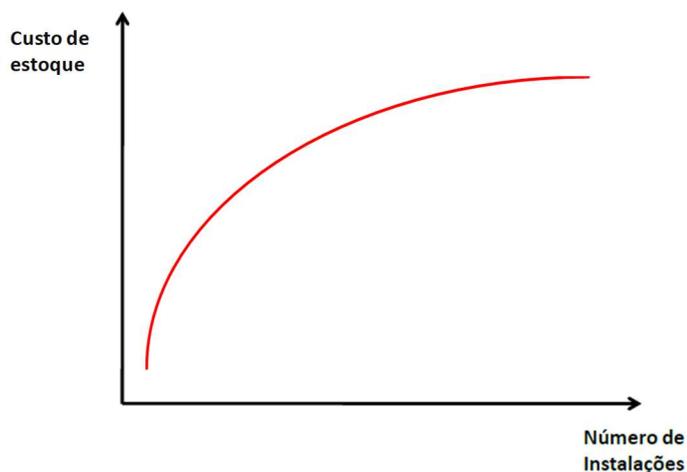


Figura 10 – Relação entre número de instalações e custo de estoque

Fonte: Chopra e Meindl (2010)

À medida que aumenta a quantidade de instalações no desenho de redes de suprimentos aumenta obviamente o custo da instalação representado na Figura 9. O estoque e os custos de estocagem também aumentam conforme aumenta o número de instalações, ilustrado na Figura 10.

Segundo Wanke et al. (2009) o grau de centralização dos estoques tem uma influência importante no custo total da cadeia de suprimentos. Há diferentes políticas de alocação de estoques, ou de agrupamento das demandas, nos centros de distribuição de uma cadeia de suprimentos.

- Centralização total dos estoques em um único centro de distribuição;
- Sistemas independentes, cada mercado é atendido exclusivamente por um único centro de distribuição;
- Transferência regulares, todos os mercados são atendidos por todos os centros de distribuição presentes na cadeia de suprimentos.

Aumentar o número de locais de depósito diminui a distância média da expedição até o cliente e torna a distância de transporte de expedição uma fração menor da distância total trafegada pelo produto. Assim, desde que mantidas as economias de escala do transporte de recebimento, aumentar o número de instalações, diminui o custo total de transporte conforme demonstrado na Figura 11.

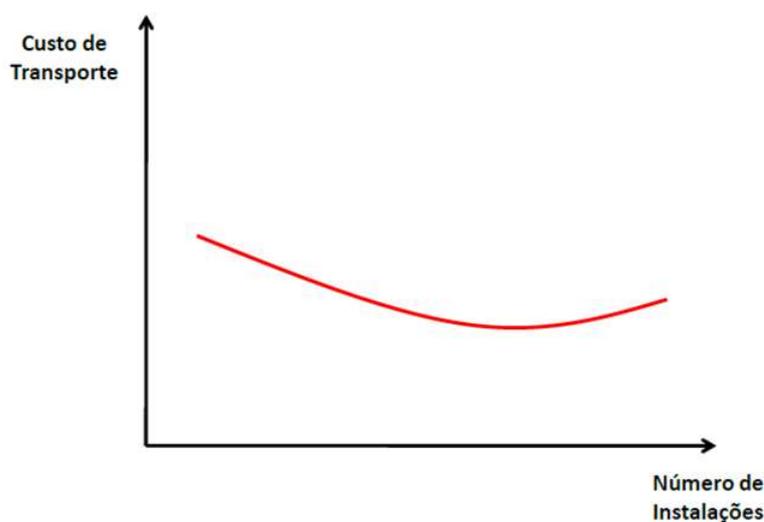


Figura 11 – Relação entre número de instalações e custo de transporte

Fonte: Chopra e Meindl (2010)

Custos de expedição são, no geral, mais altos que custos de recebimento, pois os tamanhos dos lotes de recebimento são maiores. Por exemplo, o depósito da Amazon recebe carregamentos inteiros de livros no lado do recebimento, mas envia pequenos pacotes, com apenas alguns livros para clientes.

Se o número de instalações for aumentado a um ponto em que os tamanhos de lote de recebimento também são muitos pequenos e resultam em perda significativa das economias de escala no transporte da expedição, aumentar o número de instalações significa aumentar o custo total de transporte.

Encontrar o ponto de equilíbrio entre o tempo de resposta das instalações e seus respectivos custos logísticos totais, conforme ilustrado na Figura 12, é o desafio constante dos gestores e projetistas dos desenhos de redes de suprimentos. Uma das grandes questões é “quanto o cliente está disposto a pagar para ter esse nível de serviço?”.

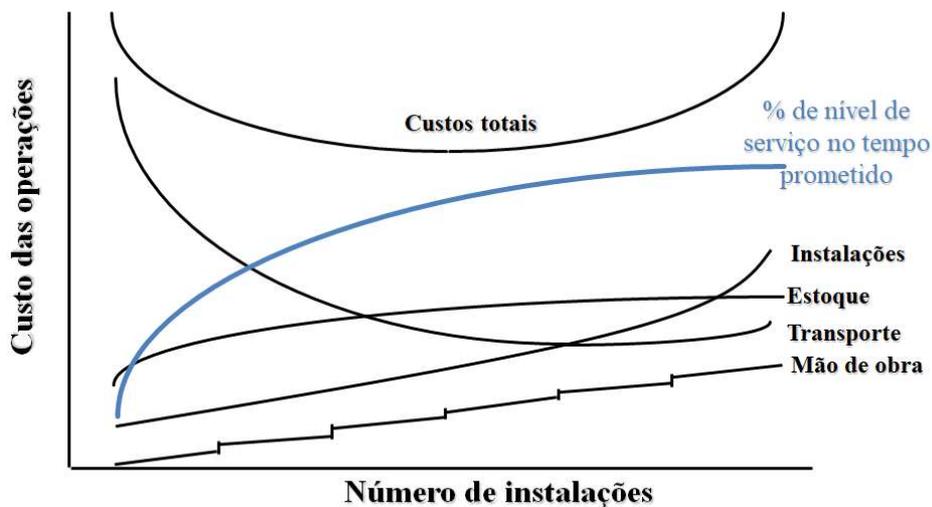


Figura 12 – Variação em custos logísticos totais e nível de serviço conforme o número de instalações

Fonte: Chopra e Meindl (2010)

Deve-se incluir também o custo de transferência e as diferenças de taxas de impostos entre os estados brasileiros. A falta desse procedimento significa que os ganhos projetados por modelos sofisticados de redesenho de rede podem não ser obtidos devido as obrigações fiscais. Drtina and Córrea (2011) acreditam que, dada a sua importância, os efeitos fiscais devem ser incluídos como uma variável adicional nos estudos de localização quantitativos. Eles argumentam que é necessária mais investigação para determinar como as consequências fiscais devem entrar no modelo de cadeia de fornecimento.

### 2.1.3. Aspectos Tributários Brasileiros

Um aspecto que ganhou maior prioridade nas agendas dos gestores e empresários é a estrutura fiscal nacional, que é complicada, dispendiosa e muito ineficaz para apoiar uma economia em crescimento. E que faz toda a diferença no desenho de redes logísticas devido as distorções tributárias existentes entres os estados brasileiros.

A lei nº 5.172 / 1966, art. 3ª do Código Tributário Nacional, de acordo com o art. 146, III, a, da Constituição Federal estabelece a definição de tributo como:

“Tributo é toda prestação pecuniária compulsória, em moeda, ou cujo valor se possa exprimir, que não constitua sanção de ato ilícito, instituída em lei e cobrada mediante atividade administrativa plenamente vinculada”.

O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS) é um tributo que cada um dos Estados e o Distrito Federal podem instituir, como determina a Constituição Federal de 1988.

O ICMS incide sobre o valor faturado (preço) dos produtos de empresas ao longo de uma cadeia produtiva ou comercial. Cada Estado da União e o Distrito Federal tem uma alíquota definida para cada tipo de produto e operação comercial (compra e venda). É um imposto não cumulativo, compensando-se o valor devido em cada operação ou prestação com o montante cobrado anteriormente. Em cada etapa da circulação de mercadorias e em toda prestação de serviço sujeita ao ICMS deve haver emissão da nota fiscal ou cupom fiscal. Esses documentos serão escriturados nos livros fiscais para que o imposto possa ser calculado pelo contribuinte e arrecadado pelo Estado.

A Tabela 1 representa as Alíquotas de ICMS nas Operações Interestaduais para operações com bens e mercadorias, bem como prestações de serviço, para as quais não haja previsão de alíquota específica. A legislação pode fazer referência ao código NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul), por isso é recomendado sempre consultar a alíquota do produto.

Tabela 1 – Tabela de Alíquotas de ICMS nas Operações Interestaduais

		DESTINO																											
		AC	AL	AM	AP	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA	PB	PR	PE	PI	RN	RS	RJ	RO	RR	SC	SP	SE	TO	
O R I G E M	AC		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	AL	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	AM	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	AP	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	BA	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	CE	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	DF	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	ES	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	GO	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	MA	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	MT	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	MS	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	MG	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		7	7	12	7	7	7	7	12	12	7	7	12	12	7	
	PA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	PB	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	PR	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7		7	7	7	12	12	7	7	12	12	7	7	
	PE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	PI	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	RN	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	
	RS	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7		12	7	7	7	7	12	12	7
	RJ	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12		7	7	7	12	12	7	7
	RO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	
	RR	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	
	SC	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	7	12	12	7	7		12	7	
	SP	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	7	12	12	7	7	12		7	
	SE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12
TO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		

Fonte: Resolução do Senado Federal nº 22 (1989)

O ICMS interestadual incide quando uma mercadoria é produzida (ou importada) por determinado Estado e vendida a outro. Para a aplicação da Tabela 1 deve se utilizar a coluna vertical, onde estão destacados os Estados de origem das operações, e na coluna horizontal, destacam-se os Estados de destino das operações de comercialização dos produtos, mercadorias e serviços prestados.

O ICMS é um imposto de valor agregado típico, calculado da seguinte forma:

$$\text{ICMS} = [\text{Valor do produto ou serviço vendido} \times \text{imposto onde o produto ou serviço foi vendido}] - [\text{Valor dos insumos utilizados para produzir o produto ou serviço} \times \text{imposto onde as entradas foram adquiridas}]$$

Segundo Moraes e Souza (2017), o projeto de redes de suprimentos deve considerar todas as oportunidades que a legislação de cada Estado e Município brasileiro oferece, como por exemplo, incentivos fiscais, isenções ou reduções de alíquotas, reduções de base de cálculo, isenção ou redução de impostos e taxas municipais, dentre outros. Em cada projeto se faz necessário a análise prévia para a escolha da melhor alternativa fiscal, avaliando seus riscos, benefícios e o impacto tributário.

## **2.2. Desenho de Redes de Suprimentos**

Na literatura diversas abordagens para o desenvolvimento de desenho de redes de suprimentos podem ser identificadas. Ballou (2006) afirma que o desenho de rede de suprimentos deve respeitar aspectos espaciais e temporais.

O aspecto espacial trata da localização das instalações (fábricas, armazéns e pontos de varejo). Neste sentido são decisões de aspecto espacial a quantidade de instalações, sua capacidade e localização que devem ser definidos em função das exigências de serviço ao cliente e dos custos associados ao seu atendimento como, os custos de transporte, armazenagem, produção e processamento de pedidos.

O aspecto temporal diz respeito aos problemas de planejamento da rede e envolvem a manutenção da disponibilidade de produto em quantidades suficientes para atender as metas de serviço ao cliente. A disponibilidade do produto pode ser concretizada por meio da manutenção de estoque ou por intermédio do tempo de resposta ao pedido/produção.

Nagurney (2010) sugere que a determinação de um bom desenho de redes de suprimentos impõe numerosos desafios aos especialistas da área de Cadeia de Suprimentos e Logística, desde a conceituação do problema, sua formulação rigorosa e a solução final da rede de suprimentos.

Chopra (2003) ressalta que um projetista de desenho de redes de suprimentos precisa considerar as características do produto e os requisitos da rede quando decidir sobre a rede de entrega apropriada.

Na sequência são apresentadas três técnicas de desenho de redes de suprimentos.

### **2.2.1. Técnica A - Modelo de decisões para desenho de Redes de Suprimentos**

Chopra e Meindl (2010) apresentam um modelo de decisão para o desenho de redes de suprimentos composto por quatro fases. Para os autores o objetivo de um desenho de rede de suprimentos é maximizar os lucros da empresa e satisfazer as necessidades do cliente em termos de demanda e tempo de resposta. A figura 13 apresenta os elementos principais do modelo proposto.

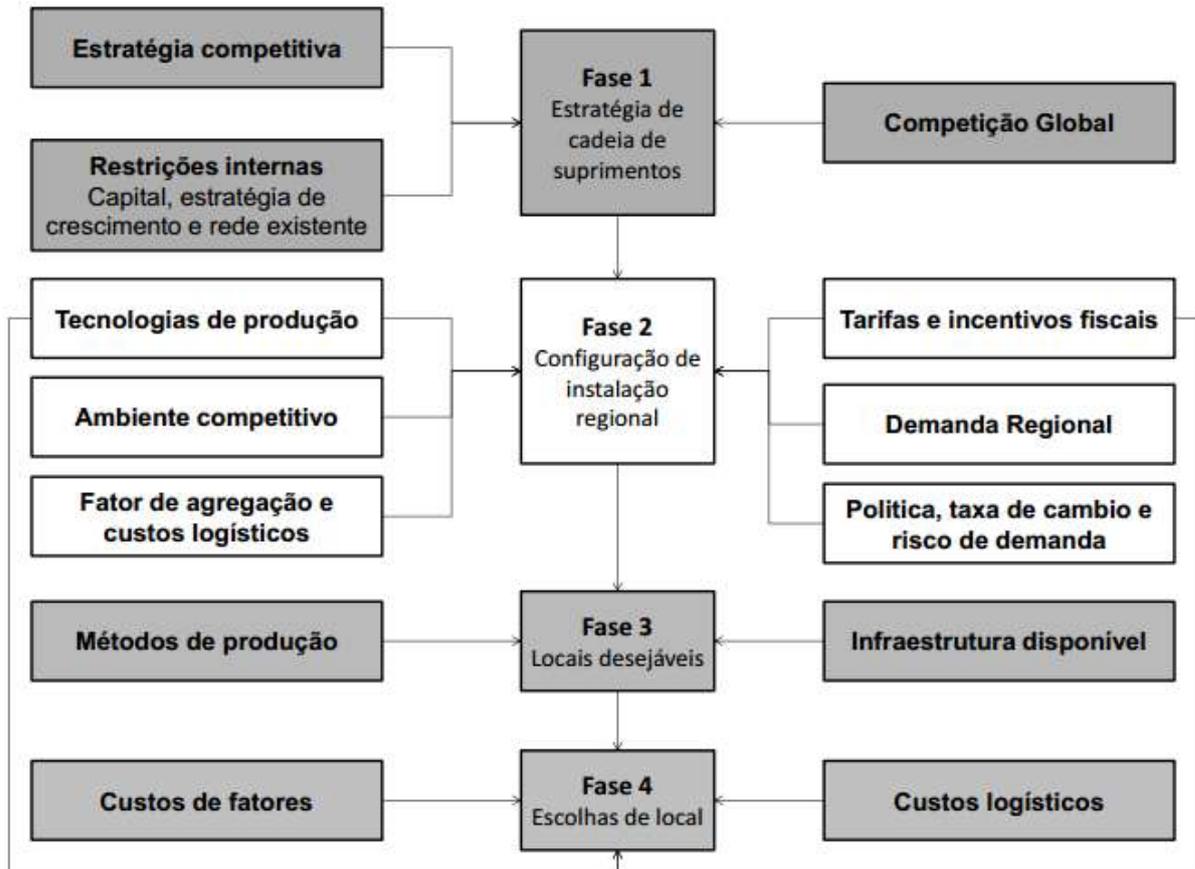


Figura 13 - Modelo para decisões de desenho de rede de suprimentos

Fonte: Chopra e Meindl (2010)

De acordo com Chopra e Meindl (2010) a Fase 1 corresponde a definição da estratégia/projeto de cadeia de suprimentos, esta estratégia deve ser definida com base na estratégia competitiva adotada pela organização, em uma análise da concorrência.

A Fase 2 tem como objetivo identificar regiões onde as instalações estarão localizadas e definir seus papéis potenciais e sua capacidade aproximada. A análise da Fase 2 começa com uma análise da demanda, que auxilia o analista a determinar se os clientes possuem requisitos homogêneos ou variáveis. Essa análise é fundamental para identificação do potencial de consolidação das atividades. O próximo passo é identificar se é possível alcançar economias de escala ou de escopo no projeto, caso sejam possíveis significativas reduções de custo podem ser apuradas pela concentração de operações. Caso contrário, devem ser pensadas facilidades voltadas para mercados específicos.

O próximo passo da Fase 2 é avaliação dos riscos da demanda, aspectos como taxas de câmbio, risco políticos associados a mercados regionais devem ser ponderados. Aspectos fiscais como incentivos e quaisquer restrições à importação e exportação não podem

ser menosprezados. Também devem ser consideradas nesta fase a identificação dos concorrentes e avaliado o quão próximo ou distante dos mesmos as instalações da organização devem ser posicionadas.

A Fase 3 tem por objetivo selecionar um conjunto de locais desejáveis em potencial dentro de cada região onde as instalações deverão ser localizadas. Os locais devem ser selecionados com base em análise da disponibilidade de infraestrutura, mão de obra, fornecedores, prestadores de serviço de transporte, comunicação e armazenagem.

O objetivo da última fase, Fase 4, é selecionar com precisão as localidades e determinar suas alocações de capacidade. A rede projetada deve atender os objetivos estabelecidos na Fase 1.

Chopra e Meindl (2010) estabelecem que na Fase 2 e Fase 3 devem ser empregados modelos de otimização de rede para determinação da quantidade adequada de instalações e modelos gravitacionais para localização destas instalações. Para Fase 4 podem ser empregados modelos de otimização para a localização e alocação das instalações.

### **2.2.2. Técnica B - Processo de desenvolvimento de Rede de Suprimentos**

Para Martel e Vieira (2010) o processo de desenvolvimento de uma solução de rede de suprimentos é composto por três níveis de abstração: físico, lógico e conceitual.

O nível físico corresponde à realidade, as instalações reais. O nível lógico é a representação da rede logística através de formalismos visuais e matemáticos onde ocorre a associação destas informações com bases de dados que permitem avaliar diferentes aspectos dos processos organizacionais tanto em nível estratégico como tático. Já o nível conceitual é aquele onde os gestores especulam e racionalizam acerca dos tipos de instalações, tecnologias, fontes de suprimentos, fornecedores de serviços e meios de transporte a serem empregados na rede logística.

A figura 14 apresenta os processos de desenvolvimento da rede logística inseridos nestes três níveis de abstração. Os retângulos correspondem às atividades de desenvolvimento e as os elementos circulares os resultados de cada processo.

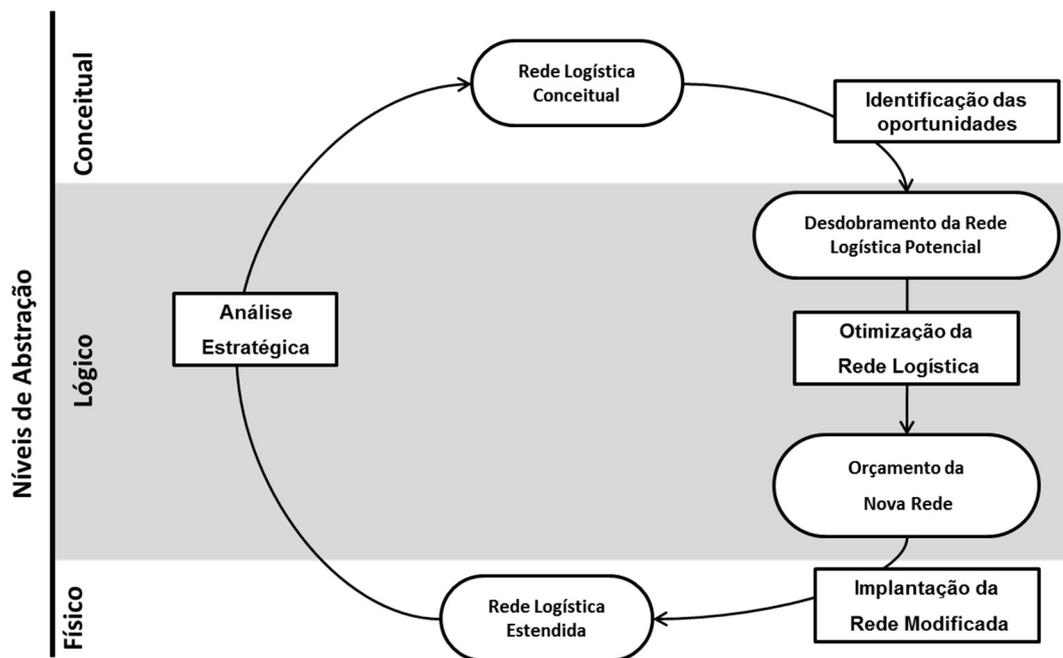


Figura 14 – Processo de Desenvolvimento da Rede de Suprimentos

Fonte: Martel e Vieira (2010)

A primeira etapa do processo é a Análise Estratégica, as atividades básicas que contemplam esta etapa são:

**Planejamento do Projeto:** definição clara dos objetivos e programa de trabalho, bem como da equipe do projeto. Martel e Vieira (2010) recomendam para o desenvolvimento desta etapa a adoção das práticas de Gerenciamento de Projetos.

**Análise do Ambiente da Concorrência:** corresponde às análises comerciais e industriais relacionadas a concorrência. O objetivo é compreender o posicionamento da empresa em relação a diversos aspectos logísticos como uso de tecnologias, fornecedores de serviços logísticos e aquisições potenciais de concorrentes ou fornecedores etc. Também é fundamental a compreensão e alinhamento dos direcionadores logísticos com a estratégia de marketing da organização.

**Descrição dos Processos e das Estruturas:** decomposição dos processos e estruturas logísticas fundamentais para o desenvolvimento das atividades logísticas compreendendo sua contribuição para o cálculo do custo logístico. Atenção especial deve ser dada aos processos de demanda. No plano estrutural deve ocorrer a caracterização dos produtos, dos mercados visados e das fontes de suprimento utilizadas.

Análise dos Comportamentos e dos Desempenhos: esta análise deve contemplar, além do desempenho operacional, as medidas que traduzam as expectativas dos diversos interessados, como clientes e acionistas.

Diagnóstico das Orientações Logísticas: as análises descritas anteriormente compõem um diagnóstico da situação atual da rede logística e representam um ponto de partida para discussão das alternativas que podem ser consideradas para o aprimoramento da rede logística.

Planejamento do trabalho de reengenharia: a atividade final da etapa 1 é a definição de um planejamento detalhado das próximas etapas do processo de desenvolvimento da rede logística da organização.

A etapa 2 do desenvolvimento é a Identificação de Projetos de Desdobramento/expansão que busca determinar como a estratégia logística desenvolvida poderá ser operacionalizada, considerando a rede das instalações da empresa já existentes. Nesta etapa várias oportunidades de desdobramento são identificadas e é necessário escolher as mais adequadas. Martel e Vieira (2010) não fazem menção a nenhuma técnica específica para identificação e classificação das oportunidades.

A etapa 3 do processo de desenvolvimento é Otimização da Rede Logística, que consiste na análise de diversos fatores, o que representa um problema complexo. Para Martel e Vieira (2010) alguns dos fatores responsáveis pela complexidade do problema de rede logísticas dizem respeito à abrangência das decisões como: localização, abertura e fechamento de instalações, alocação das instalações, número de instalações, quantidade e variedade de produtos, natureza dos objetivos (custo mínimo, aumento do nível de serviço) e a natureza das restrições consideradas. É necessário emprego de modelos computacionais de grande porte para a consideração de todos estes elementos.

A etapa 4 e final corresponde ao processo de Implantação da Rede Modificada, esta etapa do processo não é detalhada por Martel e Vieira (2010), porém os autores sugerem que sejam consideradas as práticas de Gestão de Projetos e constituída uma equipe exclusiva para a realização das atividades previstas.

### 2.2.3. Técnica C - Planejamento Sistemático de Redes (SNP)

O Planejamento Sistemático de Redes (SNP) é um enfoque organizado aplicável ao planejamento de redes que emprega *software* de modelagem de redes (Natarajan e Hales, 2009). O SNP consiste de uma estrutura composta por quatro fases, um conjunto de procedimentos padronizados para realização destas fases composto por convenções que determinam a representação dos dados, o julgamento dos elementos representativos e a apresentação dos resultados obtidos.

As quatro fases propostas são:

Fase I – Orientação do projeto: onde são definidos o escopo e objetivos almejados. É também nesta fase, que é realizada a programação do projeto, sendo definido suas principais atividades e responsáveis.

Fase II - Plano Global de Rede: nesta fase são definidas as alocações de demanda e família de produtos, a quantidade de instalações, suas localizações gerais e capacidades. Nesta fase são consideradas apenas as restrições mais gerais para desenvolvimento do modelo.

Fase III – Plano Detalhado de Redes: nesta fase o Plano Global é detalhado para itens mais específicos, métodos de transporte, capacidades de produção e armazenagem são incorporados ao modelo proposto. Ocorre também nesta fase um detalhamento maior por região, família de produtos ou conjunto de rotas que serão estabelecidas. Diversos cenários são gerados nesta Fase, sua hierarquização e escolha deverão ser realizadas com base nos critérios objetivos definidos na Fase I

Fase IV – Implementação: envolve tanto as atividades de planejamento quanto as de execução das alterações específicas necessárias para implementar o plano de rede logística detalhada na Fase III.

Os procedimentos englobam as 6 etapas enunciadas abaixo, junto com os formulários anexados na seção 7.1 a 7.6.

Etapa 1 - Oriente o projeto: investigue entradas de dados e ferramentas & esclareça. O resultado desta etapa é o projeto compreendido e programado, utilizando o formulário de Orientação & Problemas (anexo I, seção 7.1) com base em:

- Identificação do projeto com seus respectivos objetivos e situação atual;
- Definição do escopo e resultados esperados do projeto;
- Documentação e avaliação de todos os aspectos do planejamento de redes;
- Plano para modelagem e modificação da rede.

Etapa 2 - Defina as variáveis: interaja com parâmetros e sensibilidades & estabeleça. O resultado desta etapa é o modelo de rede com os dados prontos para serem rodados. E o principal formulário é a Folha de Resumo das Variáveis (anexo II, seção 7.2) que engloba:

- Definição das variáveis do modelo;
- Visualização da rede de suprimentos;
- Levantamento e formatação dos dados: demanda, custos, restrições e parâmetros de processo por exemplo;
- Listar todas as suposições;
- Escrever as fórmulas que serão empregadas;
- Formulação do modelo; e
- Registro dos dados para satisfazer os requerimentos do modelo.

Etapa 3 - Analise as sensibilidades: integre conhecimento de logística e operações & desenvolva. O resultado esperado é o modelo base da rede de suprimentos validado com o suporte do formulário Folha de Validação (anexo III, seção 7.3). Esta etapa abrange as atividades abaixo:

- Fazer o modelo base funcionar;
- Localizar e consertar inviabilidades;
- Medir a variância entre o modelo base e o desempenho real atual da rede de suprimentos;
- Ajustar o modelo base até a variância do desempenho ser aceitável; e
- Compilar os resultados do modelo base e estatísticas atuais da rede de suprimentos.

Etapa 4 - Crie os cenários: modifique cenários preliminares & refina. O resultado desta etapa são os resultados do modelo para planos alternativos (cenários) de redes de suprimentos. E o formulário base desse processo é a Folha de Resumo de Cenário (anexo IV, seção 7.4) com as respectivas atividades chaves:

- Adicione ao modelo base as variações propostas pelos especialistas em redes de suprimentos;
- Agrupe as alterações do modelo base em cenários alternativos, onde cada um representa um plano diferente de rede;

- Defina exemplos pessimistas, mais prováveis e otimistas para cada cenário;
- Rode o modelo para cada cenário e registre os resultados.

Etapa 5 - Avalie as alternativas: avalie & aprove. O objetivo é avaliar os custos e fatores intangíveis e selecionar o melhor plano da rede de suprimentos com o auxílio do formulário de Análise de Alternativas (anexo V, seção 7.5), onde:

- Identifica-se e nomeia cada alternativa do plano de rede de suprimentos;
- Compara os custos anuais e identifica o plano com o menor custo total;
- Determina o desempenho de cada plano também com fatores intangíveis relevantes;
- Compare os plano e identifica o melhor plano considerando as variáveis de custo e fatores intangíveis;

Etapa 6 - Detalhe e Execute: detalhe & faça. Nesta última etapa, os planos são detalhados e a nova rede de suprimentos é implementada. Na sequência, ocorre a auditoria dos resultados realmente obtidos. O formulário de Detalhe e Faça (anexo VI, seção 7.6) suporta as atividades abaixo:

- Lista de tarefas para implementar a nova rede de suprimentos;
- Identifique a duração e responsável por cada tarefa;
- Monte um cronograma detalhado;
- Verifique e registre o cumprimento das tarefas frequentemente;
- Tome medidas para garantir o escopo, custo e prazo do plano de implementação;
- Registre as lições aprendidas; e
- Realize a auditoria dos resultados.

Um resumo do método proposto é apresentado na Figura 15 onde podem ser observadas as quatro fases que o compõem, os procedimentos propostos e as convenções empregadas. O método proposto deve ser apoiado por um *software* de modelagem de rede, sendo este fundamental para avaliação dos cenários propostos nas Fases II e III, segundo Natarajan e Hales (2009).

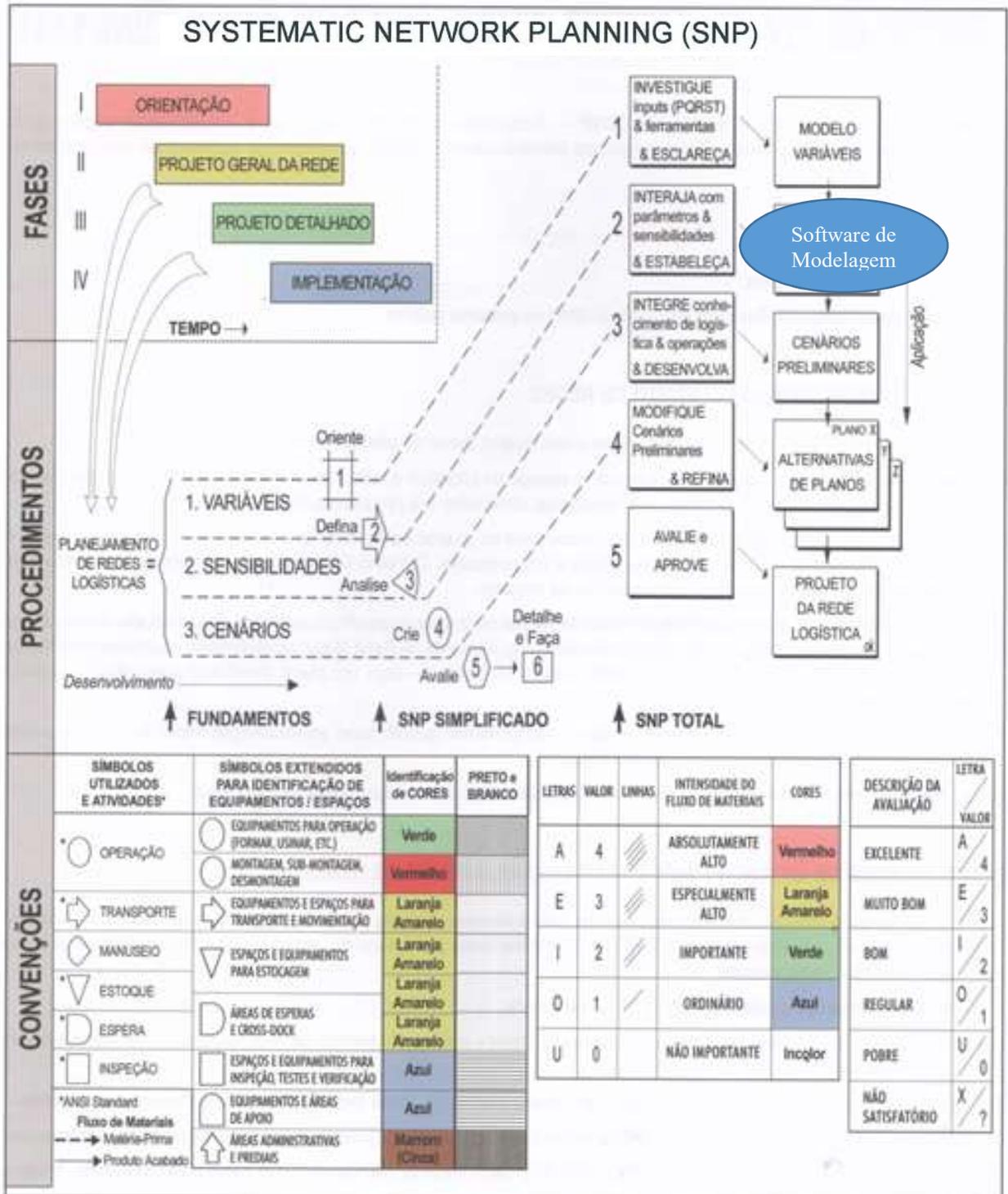


Figura 15 – Planejamento Sistemático de Redes (SNP)

Fonte: Adaptado de Natarajan e Hales (2009)

Quadro 1 detalha as principais diferenças entre o procedimento de planejamento sistemático de redes completa (SNP Total) e simplificada (SNP Simplificado), ilustradas na Figura 15, conforme Natarajan e Hales (2009).

SNP Total	SNP Simplificado
Quatro fases, com cinco seções padrões que se repetem nas Fases II e III.	Seis etapas.
<p>Pode lidar qualquer tamanho de projeto:</p> <p>A análise envolve muitos produtos,</p> <p>Com diferenças significativas em custos fixos e operacionais, e</p> <p>Muitas localizações são possíveis em várias regiões dispersas.</p>	<p>Adequada a projetos simples, pequenos principalmente quando:</p> <p>A análise é focada em um ou poucos produtos,</p> <p>Custos de transporte são dominantes, e</p> <p>O número de localizações possíveis é pequeno e eles se estendem a uma região geográfica limitada.</p>
O usuário deve entender o valor da completa metodologia de planejamento.	Fácil de aprender (menos de um dia). Altamente adequado para equipes autogeridas.
Projetos de SNP completa podem usar a SNP Simplificada para subprojetos na Fase III.	Pode ser aplicada em planejamento de redes detalhado ou local dentro de um projeto maior usando a SNP completa.
Para desenvolvimento inicial de modelos novos e de larga escala.	Para aplicar e revisar modelos de redes desenvolvidos anteriormente.
<p>Problemas comuns de planejamento:</p> <p>Onde localizar novas instalações,</p> <p>Planejamento de capacidade ao longo de regiões e para múltiplas linhas de produtos,</p> <p>Designações de múltiplos produtos para múltiplas instalações,</p> <p>Análise de abastecimento para múltiplos lugares e produtos,</p> <p>Estratégias operacionais com grande gama.</p>	<p>Problemas comuns de planejamento:</p> <p>Mudança na política de estoque,</p> <p>Aumentar capacidade,</p> <p>Aumentar ou fechar filial,</p> <p>Comparar meios de transporte,</p> <p>Onde fazer novos produtos (entre lugares existentes),</p> <p>Mudança no tamanho de lote,</p> <p>Fazer ou comprar,</p> <p>Hora extra.</p>

Quadro 1 – Principais diferenças entre o procedimento SNP Total e SNP Simplificado

Fonte: Natarajan e Hales (2009)

De acordo com Natarajan e Hales (2009), o procedimento de planejamento sistemático de redes simplificada pode ser empregada quando quer dar início rápido a um

projeto, como menos confusão de objetivo e escopo; o planejamento de rede é novo para os indivíduos ou organizações que precisam de um processo padrão; necessidade de envolvimento eficaz do pessoal de operação e aceitação das recomendações; e modelagem precisa que prevê economias próximas dos resultados atuais.

#### 2.2.4. Comparativo das Técnicas para o Desenho de Redes de Suprimentos

O Quadro 2 resume as principais diferenças entre as três técnicas descritas anteriormente para o desenho de redes de suprimentos:

- Técnica A: Modelo de Decisões para Desenho de Redes de Suprimentos;
- Técnica B: Processo de Desenvolvimento de Redes de Suprimentos;
- Técnica C: Planejamento Sistemático de Redes (SNP Simplificado).

	<b>Técnica A</b>	<b>Técnica B</b>	<b>Técnica C</b>
<b>Número de Etapas</b>	4	4	4
<b>Análise Estratégica</b>	Maximizar os lucros da empresa e satisfazer as necessidades do cliente	Definição clara dos objetivos e programa de trabalho, bem como da equipe do projeto	Orientação do projeto com definição do escopo e objetivos. E a programação do projeto com suas principais atividades e responsáveis.
<b>Modelo Conceitual</b>	Avaliação e Configuração de instalação regional da rede	Avaliação e Configuração de instalação da rede	Plano Global de Rede: são consideradas apenas as restrições mais gerais para desenvolvimento do modelo.
<b>Modelagem Computacional</b>	Otimização	Otimização	Simulação / Otimização
<b>Implementação</b>	Não detalha	Sugere a metodologia de Gerenciamento de Projetos	Detalha o Plano de Implementação

Quadro 2 – Principais diferenças entre as três técnicas para o desenho de redes de suprimentos

Na análise estratégica, as técnicas B e C destacam-se ao estruturar o desenho de redes de suprimentos através da delimitação clara de objetivos e escopo, designação de equipes de trabalho e suas respectivas atividades. Em relação a modelagem computacional, a técnica C é a única que contempla simulação ao invés de apenas modelos de otimização como as técnicas A e B.

E na implementação da nova rede da cadeia de suprimentos, a técnica C destaca-se mais uma vez por detalhar o plano de implementação enquanto a técnica B sugere a metodologia de gerenciamento de projetos e a técnica A, não detalha ou sugere qualquer procedimento ou boas práticas.

A técnica C por ser um conjunto de procedimentos estruturados e padronizados para o processo de desenho de qualquer rede, pode economizar muitas horas e evitar muitos atrasos, frustrações e desentendimentos dentro da equipe.

Por todos os fatores citados anteriormente, a técnica C (Planejamento Sistemático de Redes – SNP) foi escolhida para o desenvolvimento do desenho de redes de suprimentos desta pesquisa.

### **2.3. Modelos de Redes de Suprimentos**

Ballou (2006) afirma que o processo de busca pelo melhor projeto de rede logística é complexo e normalmente a busca de soluções mais adequadas é realizada através de modelos matemáticos executados com o auxílio de computadores.

Dentre as técnicas disponíveis destacam-se: modelos de otimização, modelos baseados em heurísticas, modelos de simulação computacional e modelos de sistemas especialistas.

- **Otimização:** são modelos baseados em procedimentos matemáticos precisos que buscam avaliar alternativas e determinar a solução ótima. Muitos dos modelos determinísticos da Pesquisa Operacional são deste tipo, como: programação matemática (linear, não-linear, dinâmica e integral), enumeração exaustiva e modelo de sequenciação.
- **Heurísticas:** provem uma análise ampla do problema definição da rede logística, porém não garantem soluções ótimas ao problema. Modelos baseado em heurísticas são utilizados quando a busca pela solução ótima é muito trabalhosa.
- **Simulação:** é uma técnica que envolve a replicação da estrutura de custos, restrições e outros fatores que representam a rede logística, as replicações são realizadas para gerar estatísticas que são úteis para fazer comparações entre alternativas de projeto.

## 2.4. Programação Matemática

Segundo Goldberg e Luna (2005), um modelo matemático consiste de um conjunto de variáveis a serem determinadas; uma coleção de restrições que devem ser satisfeitas; e uma função objetivo para ser otimizada. A meta do modelo é encontrar uma solução, com o auxílio de um Solver<sup>®</sup>, tal que a função objetivo assuma um valor ótimo (mínimo ou máximo).

### 2.4.1. Métodos Exatos

Métodos exatos são procedimentos que permitem uma solução ótima do problema de localização, ou pelo menos uma solução de aceitável precisão, de acordo com Ballou (2006). Serão apresentados o modelo do centro de gravidade exato ou método centroide para localização de instalação única, localização de instalações múltiplas e programação linear inteira.

#### 2.4.1.1. Localização de Instalação Única

O modelo do centro de gravidade exato, p-gravidade método do mediano ou método centroide é uma técnica para localização de uma unidade operacional, classificado matematicamente como um modelo estático de localização contínua, segundo Ballou (2006).

Para Côrrea (2010), essa técnica é empregada diversas vezes para localizar armazéns intermediários ou de distribuição. Encontra-se a solução do custo mínimo de transporte para uma instalação localizada entre os pontos de origem e destino através da função objetivo. Dadas as localizações existentes das suas principais fontes de insumos e demanda, além das tarifas de transportes e volumes/pesos a serem transportados entre esses locais conforme equação (1), (2) e (3):

$$\text{Min } \sum d_n D_n F_n \quad (1)$$

$$d_n = \sqrt{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2} \quad (2)$$

$$x = \frac{\sum_{n=1}^k D_n x_n F_n / d_n}{\sum_{n=1}^k D_n F_n / d_n} \quad (3)$$

$$y = \frac{\sum_{n=1}^k D_n y_n F_n / d_n}{\sum_{n=1}^k D_n F_n / d_n} \quad (4)$$

Onde:

- $x, y$ : Coordenadas do centro de distribuição
- $x_n, y_n$ : Coordenadas do local de entrega  $n$
- $d_n$ : Distância até local de entrega  $n$
- $F_n$ : Custo de embarque de uma unidade por km
- $D_n$ : quantidade a ser enviada entre a instalação e o mercado ou entre a fonte de suprimentos

Há outros modelos de localização de instalação única, como técnicas gráficas e os métodos de aproximação de acordo com Ballou (2006). Estes variam conforme o grau de realismo que representam, na sua agilidade e facilidade de computação, e em sua capacidade de garantir uma solução ótima.

#### **2.4.1.2. Localização de Instalações Múltiplas**

Segundo Ballou (2006), a localização de instalações múltiplas também pode ser baseada no método do centro de gravidade, que atribui localizações arbitrárias aos conglomerados e que vai refinando as interações até não haver mais mudança. Essa técnica para problemas de tamanho real gera gargalos na capacidade computacional devido à natureza combinatória exacerbada de atribuir muitos clientes e poucas instalações. Por isso, utiliza-se modelos com base em programação linear inteira, métodos de simulação ou heurísticas.

#### **2.4.1.3. Programação Linear Inteira**

Programação linear inteira é um modelo de programação linear no qual algumas ou todas as variáveis do problema pertencem ao conjunto dos números inteiros conforme Ballou (2006). Quando todas as variáveis são inteiras o modelo é denominado programação inteira pura. Caso contrário, é denominado programação inteira mista ou combinada.

A programação linear combinada é a metodologia usada preferencialmente nos modelos de localizações comerciais, onde o maior benefício é lidar com os custos fixos de maneira ótima de acordo com Ballou (2006).

Segundo Chopra e Meindl (2010), a programação linear é um instrumento altamente eficaz para uma empresa utilizar quando tenta minimizar os custos ou maximizar os lucros enquanto está submetida a uma série de restrições, como por exemplo, no desenho de redes de suprimentos.

No caso de desenho de redes de suprimentos, Chopra e Meindl (2010) afirmam que decisões de localização e alocação de produtos precisam ser feitas para fábricas e centros de distribuição. E vários centros de distribuição podem ser usados para atender às demandas regionais (mercados) e diversas fábricas podem reabastecer os centros de distribuição (depósitos) conforme ilustrado na Figura 16.

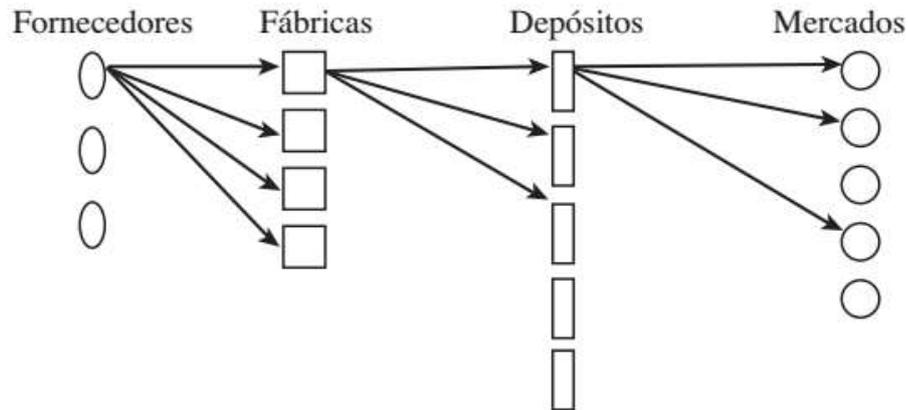


Figura 16 – Estágios em uma rede de suprimentos

Fonte: Chopra e Meindl (2010)

O objetivo mais usual do desenho de redes de suprimentos é localizar as fábricas e centros de distribuição potenciais, bem como os fluxos de produto entre os diversos pontos, que minimizem os custos fixos e variáveis totais. Sendo formulado, de acordo com Chopra e Meindl (2010), com a respectiva programação linear inteira:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n F_i y_i + \sum_{e=1}^t f_e y_e + \sum_{i=1}^n \sum_{e=1}^t c_{ie} x_{ie} + \sum_{e=1}^t \sum_{j=1}^m c_{ej} x_{ej} + \sum_{h=1}^l \sum_{i=1}^n c_{hi} x_{hi} \quad (5)$$

Onde:

- $m$  = número de mercados ou pontos de demanda
- $n$  = número de locais de fábrica em potencial
- $t$  = número de locais de centro de distribuição em potencial
- $l$  = número de locais de fornecedores
- $D_j$  = demanda anual do cliente  $j$
- $K_i$  = capacidade da fábrica em potencial no local  $i$
- $W_e$  = capacidade do centro de distribuição em potencial no local  $e$
- $S_h$  = capacidade de suprimento no fornecedor  $h$

- $F_i$  = custo fixo de localizar uma fábrica no local  $i$
- $f_e$  = custo fixo de localizar um centro de distribuição no local  $e$
- $c_{hi}$  = custo de embarcar uma unidade da fonte de suprimentos  $h$  para a fábrica  $i$
- $c_{ie}$  = custo de produzir e embarcar uma unidade da fábrica  $i$  para o centro de distribuição  $e$
- $c_{ej}$  = custo de embarcar uma unidade do centro de distribuição  $e$  para o mercado  $j$
- $y_i = 1$ , se a fábrica estiver localizada no local  $i$ ; caso contrário, 0
- $y_e = 1$ , se o centro de distribuição estiver localizado no local  $e$ ; caso contrário, 0
- $x_{hi}$  = Quantidade embarcada do fornecedor  $h$  para a fábrica no local  $i$
- $x_{ej}$  = Quantidade embarcada do centro de distribuição no local  $e$  ao mercado  $j$
- $x_{ie}$  = Quantidade embarcada da fábrica no local  $i$  ao centro de distribuição no local  $e$

A restrição na equação (6) especifica que a quantidade total enviada de um fornecedor não pode exceder a sua respectiva capacidade.

$$\sum_{i=1}^n x_{hi} \leq S_h \text{ para } h = 1, \dots, l \quad (6)$$

A quantidade embarcada de uma fábrica não pode exceder a quantidade de matéria-prima recebida segundo a restrição na equação (7).

$$\sum_{h=1}^l x_{hi} - \sum_{e=1}^t x_{ie} \geq 0 \text{ para } i = 1, \dots, n \quad (7)$$

A quantidade produzida na fábrica não pode exceder sua capacidade conforme demonstra a restrição na equação (8).

$$\sum_{e=1}^t x_{ie} \leq K_i y_i \text{ para } i = 1, \dots, n \quad (8)$$

De acordo com a restrição na equação (9), a quantidade embarcada de um centro de distribuição não pode exceder a quantidade recebida das fábricas.

$$\sum_{i=1}^n x_{ie} - \sum_{j=1}^m x_{ej} \geq 0 \text{ para } e = 1, \dots, t \quad (9)$$

A quantidade embarcada por um centro de distribuição não pode exceder a sua capacidade conforme restrição na equação (10).

$$\sum_{j=1}^m x_{ej} \leq W_e y_e \quad \text{para } e = 1, \dots, t \quad (10)$$

A quantidade embarcada ao cliente deverá suprir a demanda respeitando a restrição na equação (11).

$$\sum_{e=1}^t x_{ej} = D_j \quad \text{para } j = 1, \dots, m \quad (11)$$

A restrição na equação (12) impõe que cada fábrica ou centro de distribuição esteja aberto ou fechado.

$$y_i, y_e \in \{0, 1\}; \quad x_{ej}, x_{ie}, x_{hi} \geq 0 \quad (12)$$

Chopra e Meindl (2010) afirmam que os projetos de redes de suprimentos devem considerar os impactos de impostos e tarifas na sua modelagem, enquanto atendem ao nível de serviço solicitado pelos clientes. Portanto, a nova função objetivo visa a maximização dos lucros após impostos e tarifas, ao invés de minimizar os custos fixos e variáveis totais da rede da cadeia de suprimentos conforme descrito anteriormente.

Outra alteração necessária é a restrição da equação (11), que visa o atendimento da demanda. Dessa forma, a equação (13) permite a identificação da demanda que pode ser satisfeita de modo lucrativo e a demanda satisfeita que pode gerar uma perda para a empresa.

$$\sum_{e=1}^t x_{ej} \leq D_j \quad \text{para } j = 1, \dots, m \quad (13)$$

### 2.4.2. Métodos Heurísticos

Segundo Yanasse et al (2007), heurísticas são procedimentos para resolver problemas através da perspectiva “intuitiva”, em geral racional, onde a estrutura do problema é abordada e explorada inteligentemente no intuito de obter uma solução razoável.

Heurísticas são habitualmente executadas mais velozmente do que os algoritmos otimizantes. De acordo com Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003), uma boa heurística encontrará rapidamente uma solução que seja mais próxima da solução ótima.

Para problemas de localização geralmente se inclui a programação linear junto com procedimentos heurísticos para a resolução do problema. Contudo tem que analisar profundamente os custos não-lineares de estoque, tarifas de transporte e economias de escala em produção e compras.

Segundo Moore e Weatherford (2005), os bons modelos em planilha eletrônica devem conter os respectivos atributos:

- Variáveis claramente definidas e classificadas;
- As entradas, incluindo decisão e parâmetros, são claramente identificadas;
- Do mesmo modo, a medida ou as medidas de desempenho e variáveis consequentes são bem classificadas e facilmente encontradas;
- Os valores dos parâmetros são armazenados em células separadas e não como “links” com as fórmulas, facilitando dessa forma a documentação e posteriores análises;
- Quando necessário, as variáveis contábeis ou financeiras são separadas das variáveis que demonstram as quantidades físicas;
- Opções de formatação das planilhas eletrônicas são utilizadas para destacar o layout ou leiaute do modelo;
- Finalmente testes condicionais, como por exemplo, instruções SE( ). Estas podem ser incluídas no modelo para sinalizar quando um conjunto de variáveis produz resultados não fictícios.

O Microsoft Excel<sup>®</sup> é um dos *softwares* mais populares de planilhas eletrônicas em empresas e universidades no mundo, conforme ilustrado na

Figura 17. Produzido pela Microsoft<sup>®</sup> para computadores que utilizam o sistema operacional Microsoft Windows<sup>®</sup>, além de computadores Macintosh da Apple Inc. e dispositivos móveis como o Windows Phone<sup>®</sup>, Android<sup>®</sup> ou o iOS<sup>®</sup>.

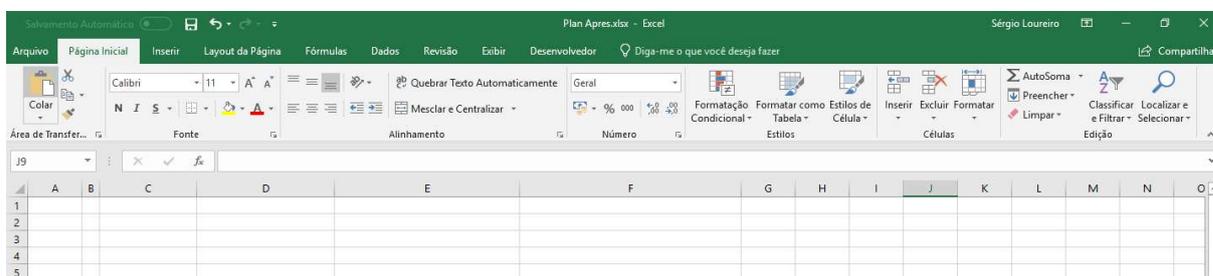


Figura 17 – *Software* Microsoft Excel<sup>®</sup>

Fonte: Adaptado do *Software* Microsoft Excel<sup>®</sup> (2017)

O Microsoft Excel<sup>®</sup> é uma ferramenta que permite solucionar problemas e otimizar modelos de desenhos de redes de suprimentos através do Solver<sup>®</sup> e programação em VBA, um acrônimo para *Visual Basic for Applications*, que é uma implementação do Visual Basic<sup>®</sup> da Microsoft<sup>®</sup> incorporada em todos os programas do Microsoft Office<sup>®</sup>. O VBA é uma linguagem de programação visual orientada a objetos cujos recursos são semelhantes aos recursos da linguagem Visual Basic<sup>®</sup> conforme Ferreira (2010).

O Solver<sup>®</sup> é um suplemento do Microsoft Excel<sup>®</sup> que pode ser usado para teste de hipóteses de acordo com a Microsoft. Normalmente usa-se o solver para encontrar um valor ideal (máximo ou mínimo) para uma fórmula em uma célula — conforme restrições, ou limites, sobre os valores de outras células de fórmula em uma planilha. O Solver trabalha com um grupo de células, chamadas variáveis de decisão ou simplesmente de células variáveis, usadas no cálculo das fórmulas nas células de objetivo e de restrição. O Solver ajusta os valores nas células variáveis de decisão para satisfazer aos limites sobre células de restrição e produzir o resultado que você deseja para a célula objetiva.

As macros possuem a função de otimizar rotinas, um conjunto de tarefas realizadas frequentemente. Ainda de acordo com Ferreira (2010), as macros podem executar rotinas simples ou complexas e serem executadas com o editor do Visual Basic<sup>®</sup> ou gravador de macros incorporados ao Microsoft Excel<sup>®</sup>.

## 2.5. Métodos de Simulação

Ballou (2006) lembra que embora os métodos de localização baseados em programação matemática forneçam soluções otimizadas, estas nem sempre são adequadas a realidade do problema. Para Ballou (2006), estes modelos falham em descrever a realidade do problema por não contemplar todas as restrições ou não equacionar todos os condicionantes do problema. Além disso, estes modelos podem ser de difícil compreensão e exigir qualificações técnicas que muitos gerentes de área não possuem para sua implementação e uso.

Portanto, algumas empresas preferem empregar métodos que permitam descrever o problema com maior exatidão e encontrar uma solução melhorada do problema, porém menos exata que a ótima. Os modelos de simulação computacional possuem essa característica, são modelos que empregam uma representação matemática de um sistema logístico por demonstrações algébricas e lógicas manipuláveis por computador.

Neste tipo de modelo, o analista precisa especificar, por exemplo, as instalações a serem avaliadas na rede. Portanto, a possibilidade de encontrar padrões ótimos ou quase ótimos depende desta escolha inicial. Ao contrário dos modelos de otimização que buscam determinar o melhor número, localização e tamanho das instalações, o modelo de simulação busca a melhor configuração da rede por meio de repetida aplicação do modelo, dadas as diferentes opções de instalação e padrão de alocação fornecidas pelo analista. Assim, a qualidade dos resultados obtidos depende do conhecimento e habilidades do analista em fornecer dados de entrada consistentes e propor cenários adequados.

Loureiro (2014) afirma que três paradigmas de simulação computacional são frequentemente aplicados aos problemas de logística e gestão da cadeia de suprimentos: Simulação por Eventos Discretos, Dinâmica de Sistemas e Simulação Baseada em Agentes. De acordo com Borshchev e Filippov (2004), o Quadro 3 apresenta o detalhamento das principais características das quatro abordagens de simulação versus o seu nível de abstração.



Quadro 3 - Abordagens de simulação versus nível de abstração

Fonte: Borshchev e Filippov (2004)

Liotta (2012) apresenta uma classificação das abordagens de simulação aplicadas a redes logísticas e de produção conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação de abordagens de simulação para redes logísticas e produção

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>
Técnicas de Simulação	Simulação de eventos-discretos (DES) Dinâmica de sistemas Simulação de Monte Carlo Simulação baseada em agentes Jogos de simulação de negócios Abordagens híbridas/integradas (como uma combinação de diferentes técnicas de simulação ou como uma integração de otimização/modelagem matemática e simulação)
Paradigma de Simulação	Simulação Local x Distribuída
Tipo de Rede	Rede de produção ou rede da cadeia de suprimentos
Escala	Local único (planta/installação única) Múltiplos locais (rede de plantas, várias camadas, ou atores envolvidos em uma rede)
Uso de abordagens interdisciplinares	Modelagem de abordagem envolvendo simultaneamente diversas disciplinas (por exemplo, engenharia, biologia, economia, física)

Fonte: Liotta (2012)

A Simulação de eventos discretos é a abordagem mais tradicional de simulação computacional em diversas áreas da ciência. Na engenharia e gestão de processos esta abordagem é quase sinônimo de simulação (Gilbert e Troitzsch, 2005). Um modelo, para esta abordagem, é representado por suas entidades e seus atributos, conjuntos, eventos, atividades e atrasos.

A noção de sistema é compreendida como uma coleção de entidades que interagem juntas ao longo do tempo para realizar um conjunto de objetivos. Porém, uma característica fundamental desta abordagem é que essas interações das entidades ocorrem como eventos instantâneos ou discretos normalmente regidos por distribuições de probabilidade que alteram o estado do modelo. A Figura 18 apresenta a estrutura básica de um sistema de eventos discretos.



Figura 18 – Elementos do Sistema.

Fonte: Harrell et al (2004)

A abordagem de Dinâmica de Sistemas tem suas raízes em sistema de equações diferenciais. Desenvolvida por Jay Forrester na metade dos anos de 1950 esta abordagem de simulação tem como objetivo compreender o comportamento dos sistemas complexos ao longo do tempo. Forrester empregou seus conhecimentos de ciência e engenharia elétrica para investigar os sistemas econômicos e sociais, seus primeiros estudos foram aplicados para compreender os problemas de rotatividade de pessoal nas fabricas da GE nos Estados Unidos.

A abordagem de simulação de Dinâmica de Sistemas pode ser considerada de nível macro uma vez que seus modelos descrevem os sistemas de forma agregada (Loureiro, 2014), as propriedades do sistema são descritas com uma multiplicidade de atributos na forma de estoques e taxas que representam o estado de todo o sistema em estudo e suas alterações (Gilbert e Troitzsch, 2005).

A Simulação baseada em Agentes é uma abordagem de simulação computacional empregada para compreender e analisar sistemas onde entidades individuais, os agentes, e suas interações podem ser diretamente representadas. Diferente das abordagens de Simulação por Eventos Discretos ou Dinâmica de Sistemas, esta abordagem apresenta a possibilidade de

modelagem da heterogenia individual, através da representação explícita das regras de decisão dos agentes e da possibilidade de situar esses agentes em um ambiente comum.

De acordo com Axelrod e Tesfatsion (2006) esta abordagem pode ser particularmente adequada para modelagem de sistemas descentralizados, que possuem características emergentes, auto-organização e interações do tipo local-global. Gilbert (2008) apresenta uma discussão das diversas áreas de aplicação desta abordagem destacando os campos da ciência social, ecologia, urbanismo, redes de negócio e gestão da cadeia de suprimentos. Para o autor as empresas componentes de uma rede de suprimentos podem ser representadas como agentes, e diversos dos seus processos como a definição dos níveis de estoque e padrão de demanda podem ser modelados como regras ou comportamentos dos agentes.

Diferentemente das abordagens de Dinâmica de Sistemas e Simulação por Eventos Discretos, a Modelagem Baseada em Agentes não possui uma estrutura de representação consagrada na literatura (Loureiro, 2014). Porém, duas estruturas básicas são empregadas na construção dos modelos: o ambiente e os agentes.

O ambiente é o espaço simulado onde os agentes são inseridos e interagem entre si e com outros elementos físicos (Denton, 2008; Gilbert, 2008). O ambiente é responsável pela dinâmica global do modelo combinando os efeitos das interpelações individuais dos agentes refletindo a estrutura física do sistema real (Bandini, Manzoni e Vizzari, 2009).

Para North e Macal (2007) agente é um indivíduo que possui um conjunto de atributos e características comportamentais. Os atributos definem o que um determinado agente é, e as características comportamentais definem o que o agente faz.

São propriedades dos agentes:

1. Percepção: capacidade de determinar quais objetos e agentes estão localizados em sua vizinhança.
2. Representação: capacidade de representar um conjunto de comportamentos ou atividades como: movimento, comunicação e ações.
3. Memória: capacidade de registrar suas percepções de ações e estados anteriores;
4. Política: possuem um conjunto de regras, heurísticas ou estratégias que determina dada a sua situação ou história quais os comportamentos que eles irão realizar.

De acordo com Gilbert e Troitzsch (2005) uma forma natural de representação da Modelagem Baseada em Agentes se dá pelo emprego de linguagem de programação orientadas a objeto.

Para Loureiro (2014) apesar das diferentes representações e descrições que delineiam os processos-chave de um estudo de simulação computacional existem um conjunto comum de processos principais a todas as abordagens. A Figura 19 proposta por Robinson (2004) representa esses processos principais de um estudo de simulação computacional. A modelagem conceitual consiste no processo de descrição do modelo que será desenvolvido, portanto compreende o entendimento do problema, a determinação dos objetivos do modelo, seus componentes e suas variáveis de entrada e saída.

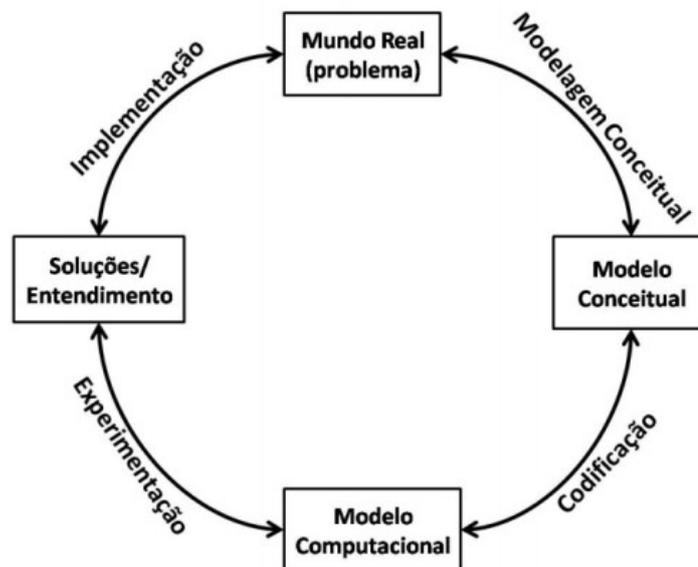


Figura 19 – Processos-chave em Estudo de Simulação Computacional.

Fonte: Robinson (2004)

O processo de codificação refere-se à implementação do modelo conceitual proposto através de linguagem computacional, planilha eletrônica ou *software* especialista em um modelo de computador.

A experimentação é um processo de busca de soluções ou maior compreensão dos fenômenos que governam o sistema. Neste processo são conduzidas experiências através da alteração de parâmetros de entrada do modelo e avaliadas as saídas obtidas.

O processo final é o de implementação, que pode ser compreendido de acordo com Robinson (2004) de três formas que não são mutuamente exclusivas:

- Implementação de Resultado: adoção de uma solução específica determinada pelo modelo de simulação.
- Implementação de Execução: adoção do modelo ao invés de um de seus resultados.
- Implementação de Aprendizagem: adoção dos conhecimentos aprendidos com o modelo ao invés de seus resultados ou propriamente da utilização do modelo.

## **2.6. Análise comparativa dos *softwares* para desenho de redes de suprimentos**

Ballou et al (1993,1999) realizaram um levantamento dos *softwares* comerciais para desenho de redes de suprimentos. Os trabalhos foram desenvolvidos com base em questionários e entrevistas com fornecedores e usuários desses *softwares*. Na pesquisa conduzida em 1993 foram apresentadas as características e especificações técnicas de 16 ferramentas. Já a pesquisa realizada em 1999 identificou a oferta de 11 ferramentas comerciais.

Para Ballou et al (1999) a redução da oferta de *softwares* foi causada principalmente por uma mudança no mercado, as empresas deixaram de desenvolver seus próprios sistemas e passaram a adquirir as ferramentas de terceiros, que normalmente oferecem serviços complementares de consultoria.

Além do aspecto relacionado ao mercado, a pesquisa conduzida por Ballou et al (1999) permitiu identificar um conjunto de avanços relacionados aos *softwares* comerciais disponíveis. Dentre os quais destacam-se o aumento do poder computacional para execução de modelos maiores e mais complexos, a capacidade de incorporar base de dados de grandes dimensões e o desenvolvimento de interface mais amigáveis ao usuário do sistema.

Outra importante conclusão do trabalho é a identificação de uma limitação das ferramentas comerciais então vigentes na incorporação de políticas de estoque ao projeto de redes suprimentos.

Funaki (2009) conduziu uma pesquisa do tipo *survey* sobre o tema, onde são identificadas 13 ferramentas comerciais. A pesquisa foi desenvolvida com base em informações levantadas nos websites dos fornecedores e outros materiais publicados, além de entrevistas realizadas com os fornecedores.

O trabalho de Funaki (2009) apresenta uma atualização das pesquisas conduzidas por Ballou et al em 1993 e 1999. Conforme pode ser observado na figura 20 ao longo do intervalo de 10 anos entre as duas pesquisas o mercado de softwares comerciais para desenho de redes de suprimentos vivenciou um período de consolidação da ferramentas e empresas atuantes no setor.

Também é importante observar nos resultados obtidos por Funaki (2009), os aspectos relacionados as capacidades das ferramentas e tendências de novas funcionalidades.

Para Funaki (2009) quatro aspectos relacionados a capacidade das ferramentas devem ser destacados: modelos de otimização da cadeia de suprimentos, tecnologias de otimização, tecnologias de visualização e as tecnologias de instalação do *software*.

Diferentemente das ferramentas avaliadas por Ballou (1993, 1999) todas as ferramentas comerciais avaliadas por Funaki (2009) têm capacidade de modelar a cadeia de suprimentos como uma rede composta por nós que representam instalações, como fábricas, armazéns e lojas, e arcos que representam os movimentos de produtos.

Para o desenvolvimento desses modelos de redes de suprimentos podem ser empregadas técnicas de solução baseadas em otimização, heurística e simulação. Todas as ferramentas pesquisadas permitem o desenvolvimento de soluções que busquem determinar o custo mínimo ou lucro máximo.

Com relação aos modelos de otimização é comum as ferramentas permitirem a apuração dos custos de manufatura, transporte e movimentação; além de custos fixos operacionais das instalações e custo de manutenção de inventário. Para modelos de cadeias de suprimentos globais, também pode ser incluída na função objetivo a computação de tarifas e taxas. Algumas das ferramentas pesquisadas já tem capacidade de computar custos associados a emissão de carbono e consumo de energia.

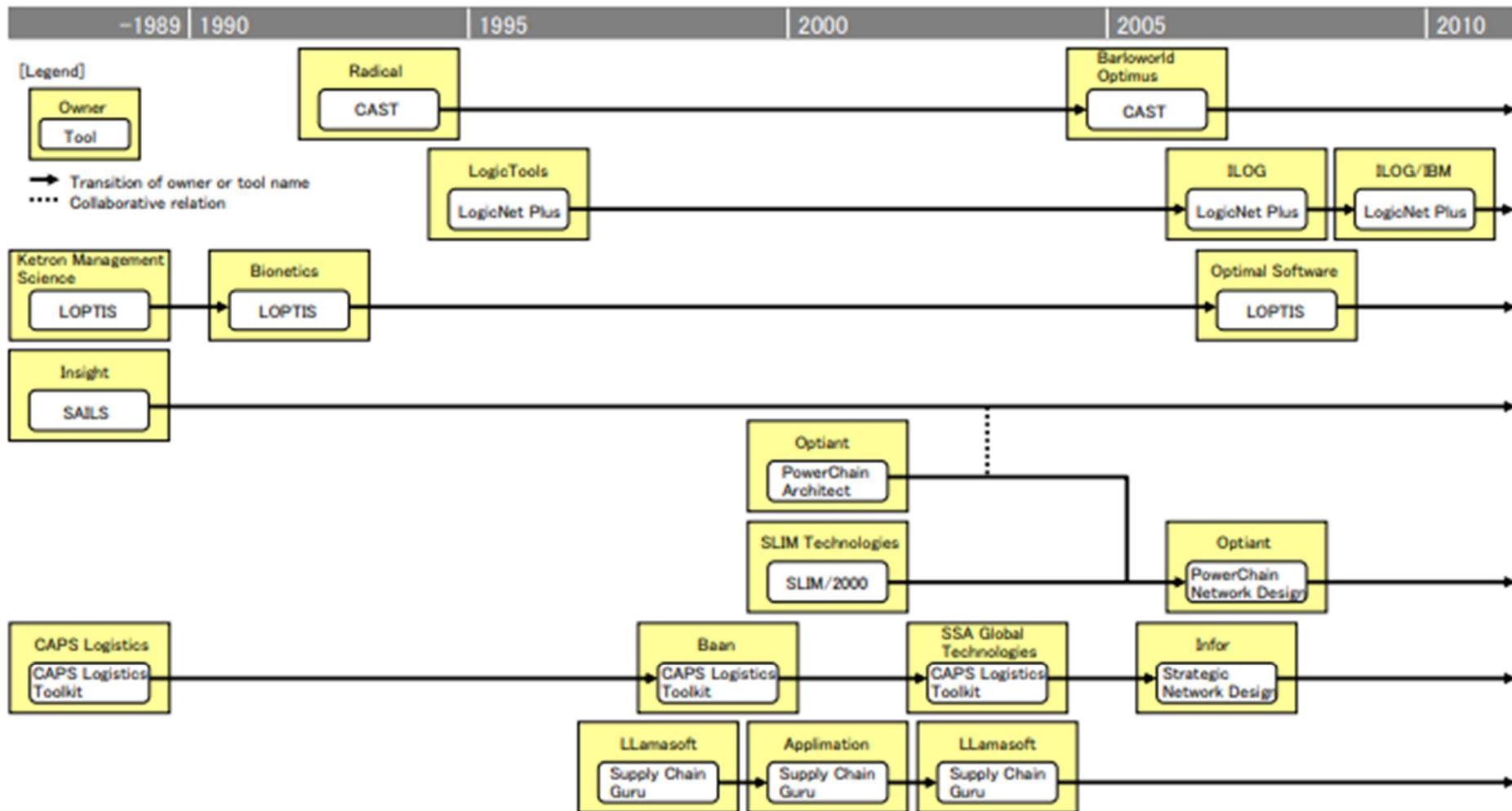


Figura 20 – Evolução das Ferramentas e Fornecedores.

Fonte: Funaki (2009)

Quanto as tecnologias de otimização, a maioria das ferramentas pesquisadas empregam *solvers* fornecidos por terceiros como Xpress-MP e CPLEX da IBM®. Esses pacotes possuem um ajuste fino aos modelos de redes desenvolvidos, o que permite a obtenção de resultados mais rápidos e precisos. Além disso, deve se destacar como fator preponderante da redução do tempo computacional os avanços obtidos em hardware.

A tecnologia de visualização das informações também merece destaque, todas as ferramentas pesquisadas apresentam métodos para visualização dos resultados do modelo através de relatórios compostos por gráficos e tabelas. Algumas ferramentas já empregam a visualização geográfica dos elementos da rede de suprimentos, o que permite uma visão holística do sistema modelado.

Outro aspecto observado por Funaki (2009) diz respeito as tecnologias de instalação. Foram identificadas ferramentas que dispensam a instalação em máquinas locais, sendo executadas através da internet empregando o conceito de *software* como serviço.

A pesquisa de Funaki (2009) também aponta para seis tendências de evolução das ferramentas comerciais. Uma das maiores dificuldades do projeto de desenho de redes de suprimentos é a preparação dos dados de entrada do modelo. Para mitigar este obstáculo os fornecedores de *software* têm investido em diversos tipos de assistência que buscam simplificar o processo de preparação e importação dos dados para as ferramentas.

Para isso muitas ferramentas têm incorporado a capacidade de integração com sistemas ERP, bancos de dados SQL, MS-Access e planilhas eletrônicas.

Outra abordagem adotada por algumas ferramentas é incorporar ao seu sistema bases de dados georreferenciada que permitem identificar a localização de facilidades, acessar informações das redes de transportes disponíveis na região em estudo.

A segunda tendência observada por Funaki (2009) é o desenvolvimento de ferramentas com uma interface de modelagem visual. A maioria das ferramentas suporta modelagem geográfica e topológica, que descreve a rede de cadeia de suprimentos como um gráfico que consiste em nós de instalações e links de fluxos físicos.

Análises e suporte aos relatórios são a terceira tendência enunciada por Funaki (2009). O desenho de redes de suprimentos não está completo com a solução otimizada oriunda das ferramentas. É necessário analisar os indicadores de desempenho da cadeia, como por exemplo, o nível de serviço ao cliente, e as sensibilidades dos parâmetros do modelo e restrições para entender as características da solução ideal. Grande parte das ferramentas

suporta saídas estatísticas gráficas e análise de sensibilidade. Muitos suportam gráficos visuais para apresentar indicadores definidos pelo usuário e para comparar vários cenários.

A quarta tendência destacada por Funaki (2009) são os fatores internacionais. No desenho de redes de suprimentos globais não podem ser ignorados fatores básicos, como moedas multinacionais, impostos, tarifas e preço de transferência. Algumas ferramentas já possuem múltiplas moedas e modelos tarifários como padrão. No entanto, a maioria das ferramentas deixa os fatores internacionais para modelos customizados caso a caso.

A avaliação de emissão de carbono é a quinta tendência explicitada por Funaki (2009). Na qual a cadeia de suprimentos impacta com o consumo de energia e emissão de gases de efeito estufa. Estes dois itens são fáceis de incorporar ao modelo de otimização de rede geral; todavia muitas ferramentas não fornecem suporte específico para tal modelagem. Recentemente os fornecedores destas ferramentas começaram a avaliar as pegadas de carbono bem como os custos de compensação de carbono.

A sexta e última tendência ressaltada por Funaki (2009) é a avaliação do inventário. À medida que o ciclo de vida do produto está ficando mais curto, manter o estoque não é apenas uma causa de custos, mas também um fator de risco de perda futura devido à queda e desvalorização de vendas.

Podem ser identificados no mercado diversos *softwares* especialistas para desenho de redes de suprimentos, alguns de destaque são: JDA Network Design & Optimization da JDA, SAP APO™ Supply Chain Engineer (SCE) da SAP®, Infor Network Design da Infor, OMP Plus Supply Chain Network Design da OM Partners, RapidResponse da Kinaxis, Quintiq Supply Chain Designer da Dassault Systemes, DSX Supply Chain Planning da Demand Solutions, Supply Chain Guru® da Lhama Soft, anyLogistix™ da Anylogic Company® e dentre outros.

Atualmente os principais *softwares* de modelagem de redes de suprimentos são o Supply Chain Guru® da Lhama Soft, que é o mais conhecido e empregado no mercado, e o anyLogistix™ da Anylogic Company®, ferramenta mais recente, que foi lançada em maio de 2017. Outra vantagem desses dois *softwares* é que disponibilizavam versões educacionais no início desta pesquisa em 2015.

O *software* Supply Chain Guru® da Lhama Soft permite otimizar a cadeia de suprimentos com base em custos, serviços, sustentabilidade e mitigação de riscos. Com um banco de dados unificado e uma interface de usuário, o Supply Chain Guru® suporta um ciclo

de modelagem interativo e de ponta a ponta para a melhoria contínua da cadeia de suprimentos. A Figura 21 representa um exemplo do *software* Supply Chain Guru®.

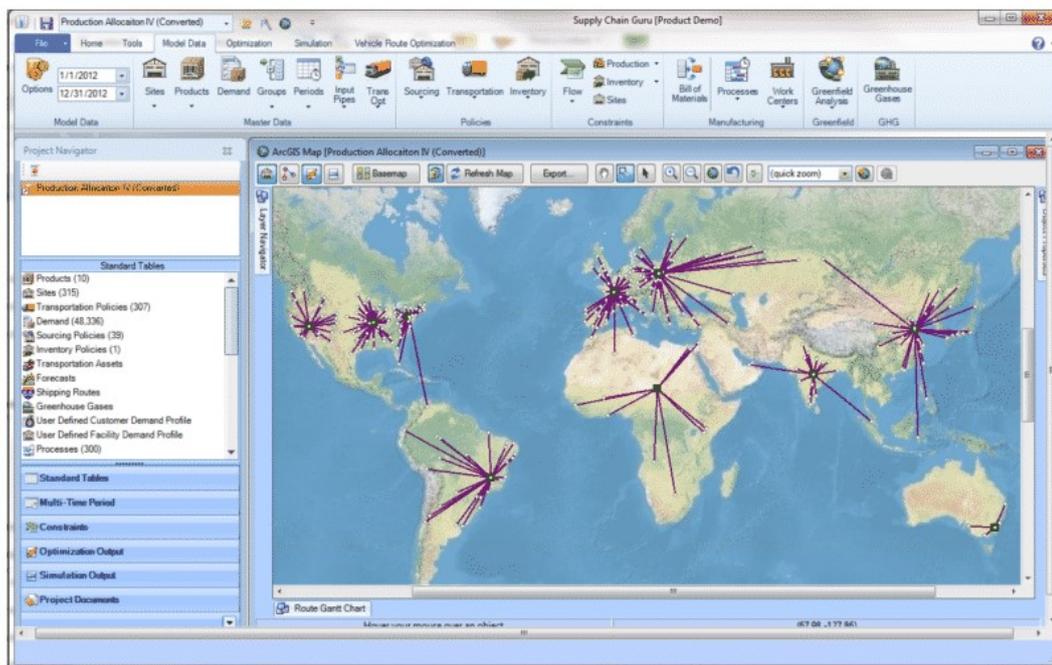


Figura 21 – Exemplo do *software* Supply Chain Guru®

Fonte: SCM Desk (2017)

A maioria das ferramentas de software de otimização de cadeia de suprimentos usam métodos de modelagem analítica proprietários, que são inerentemente inflexíveis com base em fórmulas matemáticas e projetados para focar em um problema específico. Caso o problema seja diferente da situação padrão, precisará alterar o modelo matemático. No entanto, essas mudanças nos modelos matemáticos são pesadas e normalmente precisa procurar uma solução alternativa. O anyLogistix™ remove essas limitações ao combinar soluções avançadas de otimização analítica e tecnologias inovadoras de simulação dinâmica na mesma solução, oferecendo um poderoso conjunto de ferramentas para capturar a singularidade de cada cadeia de suprimentos de ponta a ponta. O Quadro 4 apresenta o comparativo das três versões do software anyLogistix™.

<b>Versões anyLogistix™</b>	<b>Edição de aprendizagem pessoal (PLE)</b>	<b>Pesquisador universitário</b>	<b>Profissional</b>
Capacidade de modelagem multi-método	✓	✓	✓
Integração com mapas GIS	✓	✓	✓
Assistência para construção de modelos através de suporte técnico		✓	✓
Tamanho ilimitado do modelo		✓	✓
Desenvolvimento e uso de bibliotecas personalizadas	✓	✓	✓
Biblioteca de modelagem de processo	✓	✓	✓
Bibliotecas específicas do setor/indústria	(limitado)	✓	✓
Gráficos empresariais e animação em 2D e 3D	✓	✓	✓
Construção de banco de dados, suporta planilhas em Microsoft Excel® e arquivos de texto	✓	✓	✓
Componentes básicos de integração com banco de dados externos		✓	✓
Componentes profissionais de integração com banco de dados externos			✓
Experimentos com variação de parâmetros e simulação	✓	✓	✓
Estrutura de experimento profissional		✓	✓
Exportar modelo para AnyLogic Cloud®	✓	✓	✓
Exportação de modelo para aplicação autônoma			✓
Depuração básica do modelo	✓	✓	✓
Depuração profissional do modelo			✓
Salvar e restaurar o modelo instantaneamente			✓
Integração do sistema de controle de equipe e de trabalho (SVN)			✓
Importar desenho do CAD			✓

Quadro 4 - Comparativo das versões do *software* anyLogistix™

Fonte: Anylogic® (2018)

O *software* anyLogistix™ da Anylogic Company® é o único *software* de otimização de cadeia de suprimentos multi-método que permite analisar, projetar e otimizar o desenho de rede de suprimentos. Com o anyLogistix™ é possível criar cenários com análises greenfield (centro de gravidade), otimização analítica de redes, simulação, simulação baseada em análise de riscos, simulação baseada em otimização de rede, simulação baseada em análises “e se” (“*what-if*”). A Figura 22 ilustra um exemplo do *software* anyLogistix™.



Figura 22 – Exemplo do *software* anyLogistix™

Fonte: Yue (2017)

Atualmente, o *software* Supply Chain Guru® não disponibiliza a versão educacional e a AnyLogic® desenvolveu o anyLogistix™ nas versões Profissional, Pesquisador Universitário e Edição de Aprendizagem Pessoal (PLE). O público alvo da edição PLE são estudantes e iniciantes, o de Pesquisador universitário são pesquisas públicas em universidades e o de Profissional são empresas e organizações governamentais.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo é apresentado o procedimento de pesquisa adotado para o desenvolvimento deste trabalho. Este procedimento está baseado no método de planejamento sistemático de redes (SNP) e nos métodos de modelagem e simulação computacional, descritos no capítulo dois.

No fluxograma da figura 23 são enunciadas as etapas do desenvolvimento da pesquisa, que são detalhadas na sequência.

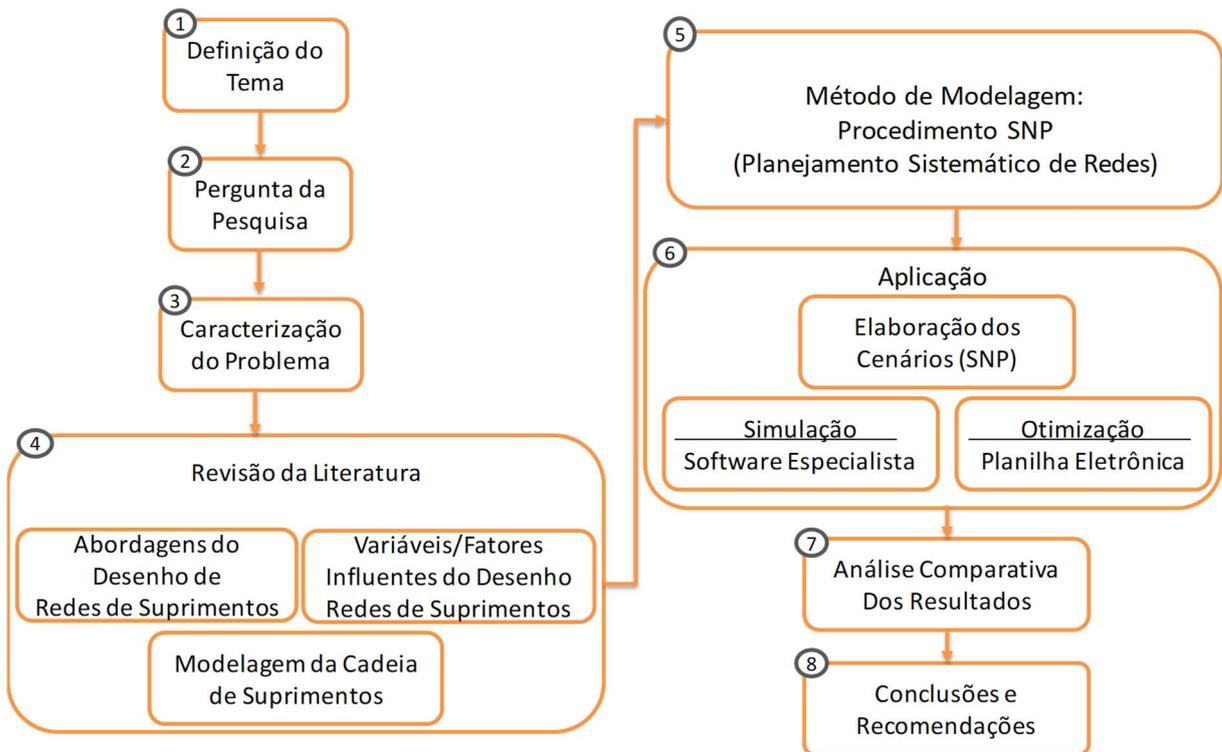


Figura 23 – Fluxograma de Etapas da Pesquisa

As primeiras três etapas descritas no fluxograma referem-se à definição do tema, pergunta de pesquisa e caracterização do problema. Os desenvolvimentos dessas três etapas, junto com a definição do objetivo dessa pesquisa, foram realizados no capítulo um.

A etapa da revisão da literatura, apresentada no capítulo dois, cobre os assuntos relevantes a pesquisa, como cadeia de suprimentos, abordagens de desenhos de redes, modelos de redes de suprimentos, programação matemática, simulação computacional e análise comparativa dos *softwares* comerciais para desenho de redes de suprimentos.

As três técnicas de desenho de redes de suprimentos discutidas contemplam as etapas necessárias para o desenvolvimento do projeto de redes no âmbito acadêmico e empresarial. A técnica A foca no modelo de decisões para desenho de redes de Chopra e Meindl (2010), a técnica B engloba o processo de desenvolvimento de rede logística de Martel e Vieira (2010) e por último, a técnica C apresenta o planejamento sistemática de redes (SNP) de Natarajan e Hales (2009). As três abordagens são detalhadas e comparadas em relação ao número de etapas, análise estratégica, modelo conceitual, modelagem computacional e detalhamento da implementação.

Também são abordadas na revisão da literatura, as variáveis e fatores influentes do projeto de redes de suprimentos, como por exemplo, custos, complexidades operacionais, nível de serviço, impostos e legislação.

Os métodos de modelagem e simulação computacional aplicáveis ao desenho de redes de suprimentos são comparados, bem como os *softwares* comerciais especialistas que empregam esses métodos, com destaque para o Supply Chain Guru<sup>®</sup> da LLamasoft<sup>®</sup> e o anyLogistix<sup>™</sup> da The Anylogic Company<sup>®</sup> (antiga XJ Technologies). As abordagens de programação matemática são discutidas com base nos métodos exatos e heurísticos, junto com a ferramenta Solver<sup>®</sup>, VBA<sup>®</sup> (*Visual Basic for Applications*) e o *software* de planilha eletrônica Microsoft Excel<sup>®</sup>.

### **3.1. Planejamento Sistemático de Redes (SNP)**

Na etapa da metodologia foi adotado o método de Planejamento Sistemático de Redes (SNP), baseado no modelo de Planejamento de Alta Performance (*High Performance Planning*) desenvolvido por Richard Muther, que inclui um conjunto de fases e procedimentos específicos para o planejamento da rede logística, conforme apresentado na revisão da literatura. O fluxograma da Figura 24 ressalta os procedimentos padronizados do SNP utilizados no desenvolvimento do projeto de rede de suprimentos dessa pesquisa.

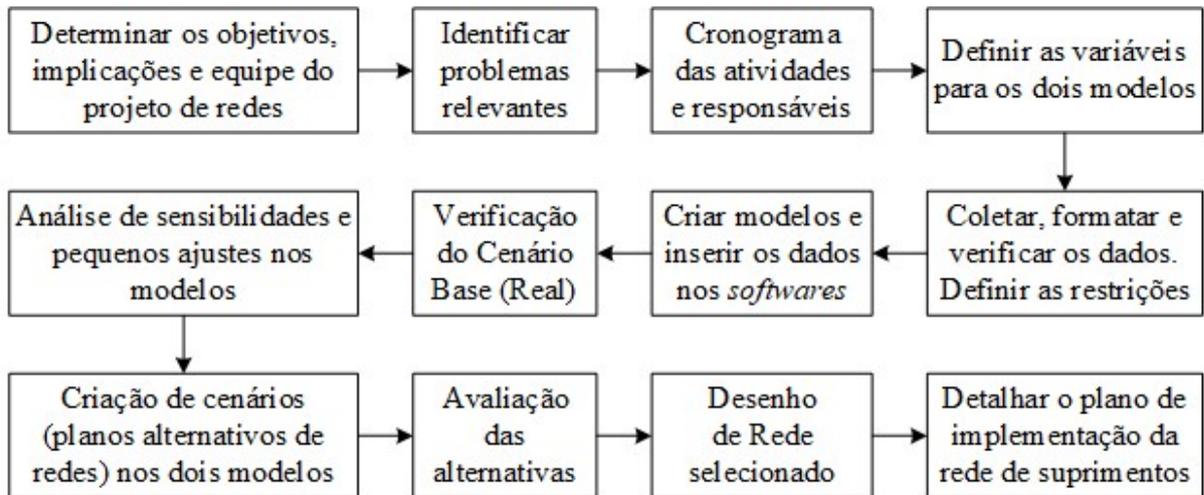


Figura 24 – Fluxograma SNP

Fonte: Adaptado de Natarajan e Hales (2009)

A parte de campo dessa pesquisa engloba o levantamento de dados e análise das informações, que será feito através de visitas técnicas e entrevistas com o time gerencial e diretoria, entendimento das atividades logísticas, nível de serviço ao cliente e a estratégia de crescimento da empresa em relação ao mix de produtos e canais de vendas. Além do mapeamento de custos logísticos, como armazenagem, transporte e estoques, e levantamento das alíquotas de ICMS. Após a coleta desses dados quantitativos será feita a verificação dos dados.

### 3.2. Planilha Eletrônica

As abordagens da programação matemática desenvolvidas com auxílio de planilhas eletrônicas terão a validação e análise dos dados realizada de forma manual. A Figura 25 ilustra as etapas do modelo de otimização construído no *software* Microsoft Excel®.

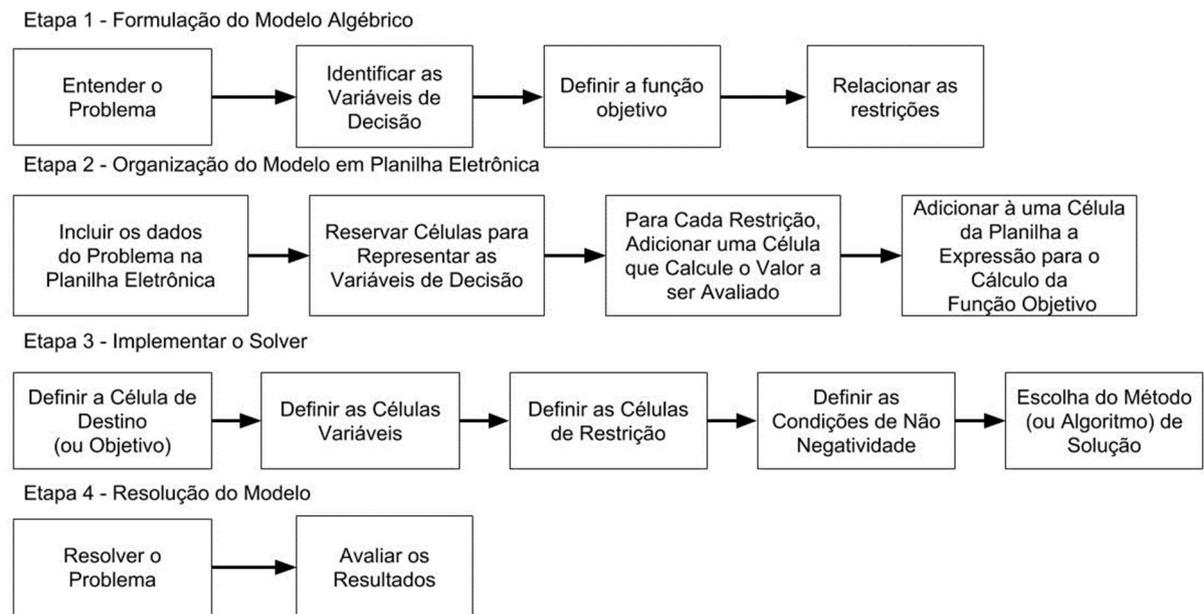


Figura 25 – Fluxograma do modelo de Otimização

A primeira etapa de modelagem consiste na formulação do modelo algébrico. Esta etapa da modelagem pode ser dividida em quatro passos. O primeiro passo corresponde em compreender o problema, sendo uma etapa fundamental para a correta formulação do modelo.

Uma vez que o problema foi compreendido, é necessário identificar as variáveis de decisão. Pode-se conduzir este passo através da busca da resposta a seguinte questão: “Quais são as decisões fundamentais que devem ser tomadas para resolver o problema?”. As respostas apresentadas para essa questão ajudarão a definir as variáveis de decisão.

Determinadas as variáveis de decisão, o próximo passo é definir a função objetivo para o modelo. Essa função expressa a relação matemática entre as variáveis de decisão no modelo e a variável de mérito que se deseja otimizar (maximizar ou minimizar o valor).

O passo final da formulação do modelo algébrico é a determinação das restrições do modelo. As restrições indicam limitações aos valores que podem ser assumidos pelas variáveis de decisão.

Uma vez que o modelo algébrico foi desenvolvido, podemos dar início a segunda etapa de modelagem a organização do modelo em planilha eletrônica.

Normalmente existe mais de uma forma de organizar os dados em uma planilha eletrônica, porém podemos considerar algumas diretrizes. O primeiro aspecto a considerar é que a forma de apresentação dos dados permita a identificação de seus objetivos e significados de maneira clara, assim devem ser empregados rótulos descritivos dos dados utilizados como legendas, títulos e unidades de medida. Também deve se tomar cuidado com

a disposição dos dados na planilha, a estrutura escolhida deve ser lógica para facilitar a compreensão dos dados e estrutura do modelo.

Escolhido o formato de disposição dos dados, deve-se reservar células separadas que representarão cada variável de decisão do modelo, bem como as células que correspondem aos valores limites (restrições) do modelo. Essas células devem ser claramente rotuladas e identificadas na planilha.

Também é necessário reservar célula para calcular a expressão correspondente a função objetivo do modelo.

Com o modelo algébrico representado no formato de planilha eletrônica, precisamos informar ao Solver aonde encontrar os componentes necessários para que o mesmo possa executar a busca pela solução do problema. Assim, deve-se indicar ao Solver as células que correspondem as variáveis de decisão, a célula que contém a função objetivo, além de se estabelecer as relações entre os valores limites (restrições) e as células que efetuam os cálculos correspondentes a estes valores.

Uma vez que o Solver tenha recebido estes valores, deve-se definir as condições de não negatividade ao qual o modelo possa estar sujeito. E se efetuar a escolha do algoritmo ou método de solução mais adequado ao problema.

Com todas as condições definidas a última etapa da modelagem é a resolução do problema e a avaliação dos resultados obtidos.

### **3.3. *Software anyLogistix™ PLE***

A partir das considerações expostas na revisão da literatura, optou-se por adotar para o desenvolvimento da simulação computacional desta pesquisa o *software* especialista em desenho de redes de suprimentos anyLogistix™ PLE (*Personal Learning Edition*). Para a escolha deste *software* foram considerados a adequação ao problema proposto, facilidade de programação e disponibilidade de versão educacional do programa. Além do *software* Supply Chain Guru® não disponibilizar mais a sua versão educacional. A Figura 26 ilustra as etapas de desenvolvimento do modelo na ferramenta.

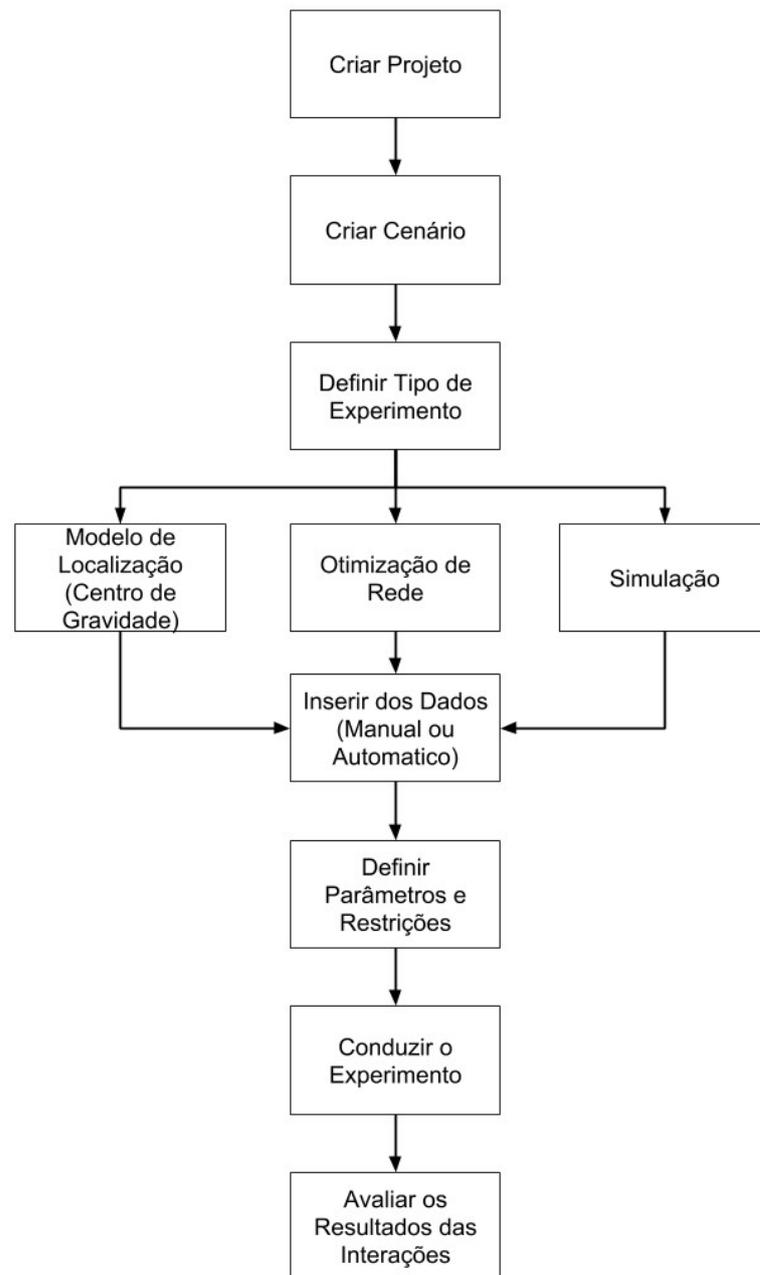


Figura 26 – Fluxograma da Simulação com o anyLogistix™ PLE

Fonte: Adaptado de Anylogic® (2018)

O *software* anyLogistix utiliza o conceito de projetos para organizar os dados e experimentos. Cada projeto pode incluir um amplo número de cenários e experimentos. Ao criar um projeto, o anyLogistix automaticamente cria um banco de dados dedicado para o armazenamento das informações do projeto.

O primeiro passo para o desenvolvimento do modelo é a criação de um cenário. Um cenário é constituído de elementos da cadeia de suprimentos como, projeto estrutural, as fontes de fornecimento, transporte, políticas de controle de inventário e produção.

O anyLogistix emprega uma estrutura relacional de tabelas para armazenar as informações listadas.

Uma vez que as informações estão salvas no banco de dados do projeto é possível realizar os seguintes experimentos de otimização e simulação:

- Otimização: Greenfield Analysis - GFA (Modelo de Localização de Instalações através do centro de gravidade) e Network Optimization – NO (Otimização de Rede);
- Simulação: Otimização baseada em simulação, simulação, variação e comparação.

Diferentemente do processo de modelagem em planilha eletrônica, onde o conjunto de dados levantados, sua formatação e apresentação são uma prerrogativa do analista, o modelo desenvolvido no anyLogistix apresenta uma estrutura padronizada de inserção de dados que garante ao sistema maior robustez e desloca o foco do analista das etapas de construção da ferramenta para as etapas de elaboração dos cenários e análise dos dados. Uma desvantagem desta estrutura é perda de flexibilidade no desenvolvimento do modelo, isto pode ser percebido através da impossibilidade de inclusão de parâmetros no modelo que não tenham sido inicialmente previstos pela empresa desenvolvedora. Por exemplo, um fator relevante no desenvolvimento de modelos deste tipo no Brasil é a inclusão do cálculo de impostos como ICMS.

Tendo-se inserido os dados na ferramenta, seja através de entrada manual ou automática através de conexão com bancos de dados externos, o próximo passo é a criação dos cenários que se deseja avaliar.

Esse processo independe do tipo de experimento e guarda diversas similaridades entre os mesmos. Inicialmente deve ser escolhido o tipo de experimento desejado e o mesmo deve ser nomeado. Após a nomeação o experimento deve ser parametrizado. Cada um dos tipos de experimentos permite um conjunto diferente de parametrizações. A Tabela 3 apresenta os parâmetros que podem ser ajustados para cada tipo de experimento:

Tabela 3 – Parâmetros do anyLogistix™

	<b>GFA</b>	<b>NO</b>	<b>SIM</b>
Parâmetros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coordenadas Geográficas dos locais dos clientes</li> <li>- Produtos</li> <li>- Demanda por Produto dos Clientes</li> <li>- Número de Instalações a ser localizadas</li> <li>- Distância Máxima de atendimento entre as Instalações e seus Clientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rede de transporte</li> <li>- Localização sugerida para os centros de distribuição</li> <li>- Custo de abertura do centro de distribuição</li> <li>- Custo de processamento de produtos</li> <li>- Custos de transporte</li> <li>- Políticas de estoque</li> <li>- Fluxo de produtos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rede de transporte</li> <li>- Localização sugerida para os centros de distribuição</li> <li>- Custo de abertura do centro de distribuição</li> <li>- Custo de processamento de produtos</li> <li>- Custos de transporte</li> <li>- Políticas de estoque</li> <li>- Fluxo de produtos</li> </ul>

Uma vez que os cenários desejados foram parametrizados, o próximo passo é a execução dos experimentos e análise dos resultados. Os diferentes tipos de resultados que podem ser obtidos através dos experimentos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Tipos de Resultados do anyLogistix™

	<b>GFA</b>	<b>NO</b>	<b>SIM</b>
Tipos de Resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Localização dos centros de distribuição/armazéns</li> <li>- Políticas de abastecimento dos clientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localização dos centros de distribuição/armazéns</li> <li>- Políticas de abastecimento</li> <li>- Custo total e lucro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo total e lucro</li> <li>- Política de estoques</li> <li>- Níveis de estoque</li> <li>- Avaliação do ciclo de pedido</li> </ul>

### **3.4. Análise Comparativa dos Resultados e Conclusões**

Na análise comparativa dos resultados busca-se avaliar os resultados obtidos na etapa anterior de aplicação. Primeiramente, os modelos gerados serão avaliados independentemente com base nos seus respectivos indicadores de desempenho. Depois será feita a análise comparativa das duas abordagens de modelagem computacional, a programação matemática com o auxílio de planilha eletrônica e a simulação computacional, para verificarmos a forma e a complexidade de inserção dos dados nos modelos, as restrições sistêmicas, as interfaces e visualização gráficas, os indicadores de desempenho das funções objetivos.

Na última etapa, conclusões e recomendações, sumariza se as ideias principais e conclusões desta pesquisa. E apresenta na sequência, as críticas e comentários sobre o trabalho desenvolvido, além de propostas e recomendações para futuras pesquisas.

## **4. APLICAÇÃO PRÁTICA**

Normalmente o objetivo do desenho de redes de suprimentos é minimizar os custos operacionais e aumentar o nível de serviço através da localização das instalações e alocação de capacidade de armazenagem e produção segundo Farahani et al (2014).

De acordo com Chopra e Meindl (2010), os principais custos (fixo e variável) que influenciam na localização das instalações e alocação da capacidade são o custo fixo da instalação, custo de transporte, custo de produção, custo de estoque e custo de coordenação. No Brasil é necessário considerar o impacto dos impostos, principalmente do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) que difere por tipo de operação de compra e venda e por produto e estado da federação.

Foram construídos dois modelos computacionais, otimização e simulação respectivamente, considerando ou não o impacto de impostos (ICMS) no projeto de redes de suprimentos, para analisar os mesmos cenários e verificar a aplicabilidade da modelagem no Excel para casos de pouca complexidade.

Nesta seção serão desenvolvidas as etapas de modelagem da rede logística em estudo seguindo as etapas do método SNP e as etapas de modelagem e simulação descritas no capítulo de método.

### **4.1. Orientação do Projeto: Caracterização do Problema**

O objetivo é avaliar a melhor alternativa de localização e quantidade de armazéns da rede logística da empresa de Alimento Alpha, através da análise de diversos cenários correlacionados com a estratégia de crescimento, aumento do nível de serviço ao cliente e redução dos custos logísticos.

Atualmente a empresa cresce percentualmente o faturamento em dois dígitos por ano e fornece produtos acabados para distribuidores, atacadistas e varejistas em todo o território nacional e possui duas fábricas e três CDs pelo Brasil, instalados respectivamente nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Pernambuco, conforme ilustrado na Figura 27.

A Figura 28 representa a dispersão dos volumes de vendas no ano de 2020, destacando o alto volume de vendas na região Sudeste pelo diâmetro das circunferências. Os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo correspondem a 50% do volume total de vendas no Brasil.

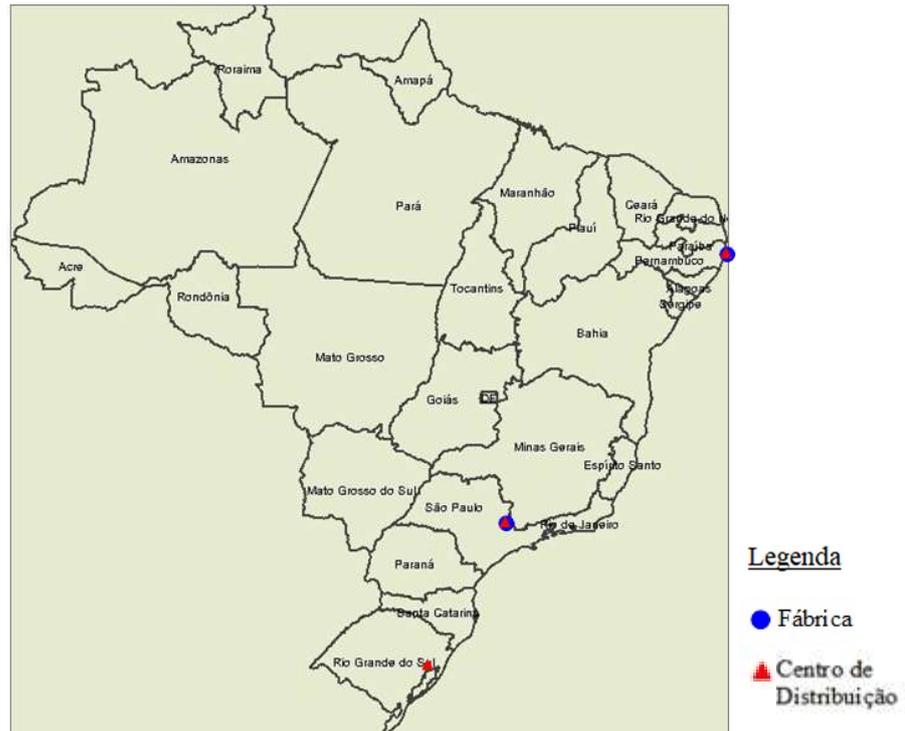


Figura 27 – Localização das Fábricas e Centros de Distribuição em 2020

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

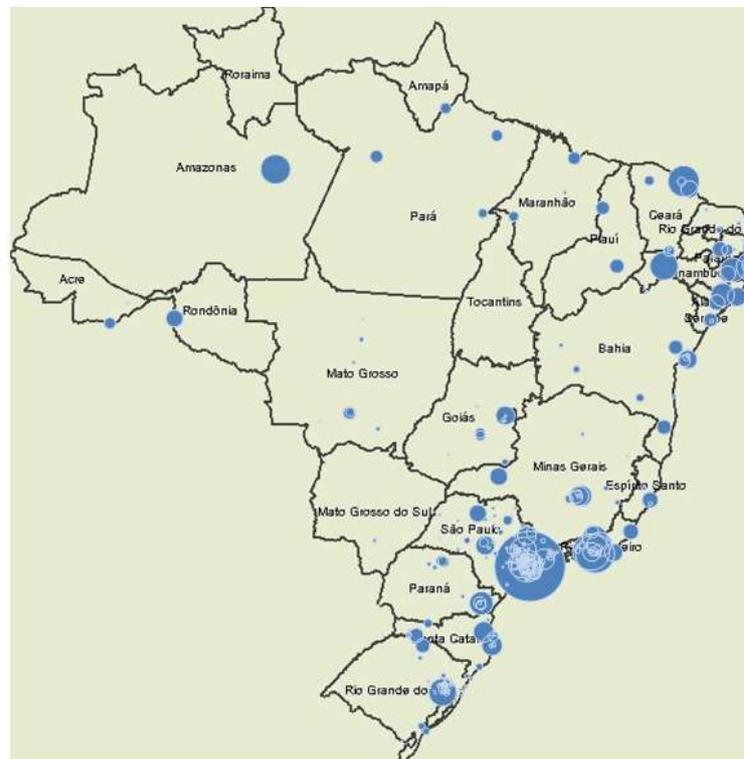


Figura 28 – Dispersão dos Volumes de Vendas no Brasil em 2020

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

## 4.2. Definição das Variáveis

Os dados da Tabela 5 foram coletados com as equipes de Vendas e Supply Chain da indústria e demonstra os volumes em toneladas por tipo de produto (p1 e p2) por estado brasileiro projetado para o ano de 2020. Sendo o volume total anual igual a 287.793 toneladas.

Tabela 5 – Volumes projetados para 2020 em toneladas

Estado	p1	p2	Total
AC	663	39	702
AL	2.921	243	3.164
AM	6.524	427	6.951
AP	1.217	68	1.285
BA	7.792	803	8.595
CE	8.766	890	9.656
DF	3.852	570	4.422
ES	2.772	351	3.123
GO	1.923	263	2.186
MA	1.980	153	2.133
MG	11.964	1.538	13.502
MS	2.017	276	2.293
MT	1.938	247	2.184
PA	6.370	484	6.854
PB	3.485	357	3.843
PE	13.606	1.819	15.425
PI	1.234	87	1.322
PR	11.261	1.983	13.243
RJ	34.603	4.596	39.199
RN	5.804	662	6.467
RO	3.943	433	4.376
RR	1.168	49	1.217
RS	15.501	3.277	18.777
SC	8.651	1.677	10.327
SE	1.428	133	1.562
SP	91.774	12.547	104.321
TO	614	48	662
<b>Total</b>	<b>253.769</b>	<b>34.024</b>	<b>287.793</b>

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

A Figura 29 demonstra que poucos clientes possuem alto volume e que existe concentração dos volumes de vendas na região Sudeste do Brasil.

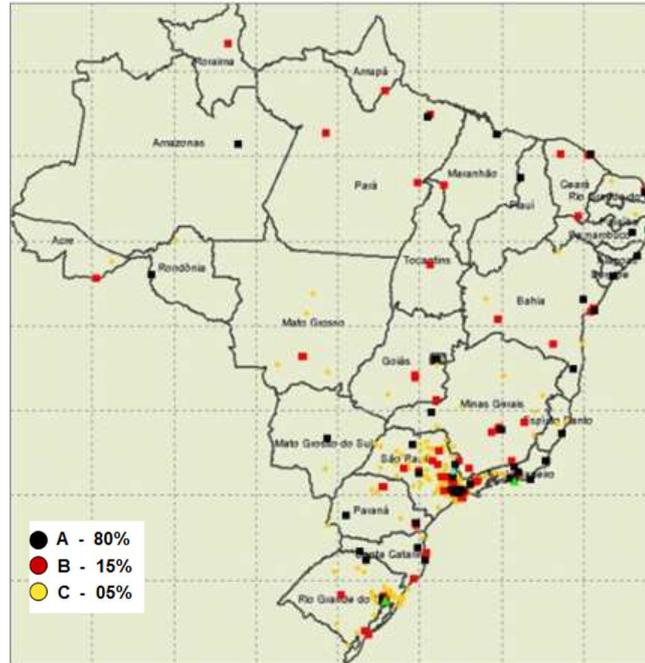


Figura 29 - Dispersão dos clientes no Brasil em 2020

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

A Figura 30 ilustra o alto volume de vendas para os principais clientes (Key Accounts) na região Sudeste e Sul do Brasil no ano de 2020.



Figura 30 - Localização e representatividade por volume dos principais clientes (Key Accounts) em 2020

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

A Tabela 6 representa a capacidade de produção anual em toneladas ( $K_i$ ) de cada fábrica ( $u$ ) pelas duas famílias de produtos ( $p$ ). Observa-se que na Fábrica 2 ( $u=2$ ) não há produção da família de produto 2 ( $p=2$ ).

Tabela 6 – Capacidade de Produção Anual das Fábricas

Fábricas		
Capacidade Anual (tons)		
u	p=1	p=2
1	220.000	35.000
2	50.000	0

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

A localização das fábricas a serem analisadas são uma cidade do interior do estado de São Paulo - Fábrica 1 ( $u=1$ ) e Recife - Fábrica 2 ( $u=2$ ). As fábricas já estão em funcionamento e seus respectivos custos de produção foram contemplados no modelo. A decisão de fechar ou ampliar a capacidade produtiva está fora do escopo desta pesquisa.

A Tabela 7 mostra a capacidade anual de expedição em toneladas ( $W_e$ ) dos setes potenciais centros de distribuição ( $w$ ) no Brasil a serem analisados e seus respectivos custos operacionais anuais (R\$).

Tabela 7 – Capacidade de Expedição e Custo Anual dos Centros de Distribuição

Centros de Distribuição		
w	Capacidade (ton)	Custo (R\$)
1	188.500	R\$ 21.194.731
2	85.000	R\$ 8.992.150
3	7.150	R\$ 896.181
4	35.100	R\$ 4.460.729
5	23.400	R\$ 3.211.725
6	10.324	R\$ 1.439.731
7	22.113	R\$ 3.180.502

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

As localizações dos centros de distribuição são uma cidade do interior do estado de São Paulo - CD 1 ( $w=1$ ), Recife - CD 2 ( $w=2$ ), Porto Alegre - CD 3 ( $w=3$ ), Jundiaí - CD 4 ( $w=4$ ), Rio de Janeiro - CD 5 ( $w=5$ ), Confins - CD 6 ( $w=6$ ) e Araucária - CD 7 ( $w=7$ ). Os três primeiros centros de distribuição já estão em funcionamento.

Na Tabela 8 é demonstrado os dados de demanda anual em toneladas das duas famílias de produto (p1 e p2) pelas seis regiões de demanda no Brasil (d), bem como o volume total. As regiões de demanda são respectivamente região Centro Oeste e Minas Gerais (d=1), principais clientes chamados também como *Key accounts* (d=2), regiões Norte e Nordeste (d=3), Rio de Janeiro e Espírito Santo (d=4), São Paulo (d=5) e região Sul (d=6). Busca-se com o modelo alocar a demanda dessas diferentes regiões do Brasil aos vários centros de distribuição e fábricas em potencial para minimizar o custo total de instalações, transporte e estoque.

Tabela 8 – Demanda anual das duas Famílias de Produto pelas Regiões de Demanda no Brasil

Demanda Anual (toneladas)							
p	d						Total
	1	2	3	4	5	6	
1	19.776	33.611	68.682	36.041	66.834	28.826	253.769
2	2.111	10.489	4.684	3.852	8.630	4.258	34.024
<b>Total</b>	<b>21.887</b>	<b>44.099</b>	<b>73.365</b>	<b>39.893</b>	<b>75.464</b>	<b>33.084</b>	<b>287.793</b>

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

A Tabela 9 representa os custos unitários de transporte para transferência (R\$) dos fluxos das cadeias de suprimento das duas fábricas (u) para os sete centros de distribuição no Brasil (w). O Centro de Distribuição (w1) está na mesma localização que a Fábrica (u1), e o mesmo se aplica a (w2) e (u2), por isso o custo de unitário de transporte para transferência é adotado como zero.

Tabela 9 – Custos Unitários de Transporte para Transferência

Tarifas	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7
u1	-	R\$ 66,21	R\$ 44,42	R\$ 23,48	R\$ 39,93	R\$ 48,16	R\$ 30,51
u2	R\$ 119,17	-	-	R\$ 108,53	R\$ 87,36	R\$ 60,51	-

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

A Tabela 10 representa os custos unitários de transporte de distribuição (R\$) dos fluxos das cadeias de suprimento dos sete centros de distribuição (w) para as seis regiões de demanda no Brasil (d). Devido as dimensões continentais do Brasil, alguns centros de distribuição (w) não entregam a determinadas regiões de demanda (d) por causa do elevado

custo unitários de distribuição e/ou impossibilidade de atendimento dentro do prazo máximo estipulado pela empresa. Esses casos são representados através da sigla NA (Não Aplicável).

Tabela 10 – Custos Unitários de Transporte para Distribuição

Tarifas	d1	d2	d3	d4	d5	d6
w1	R\$ 171,27	R\$ 334,60	NA	R\$ 140,99	R\$ 357,53	R\$ 231,00
w2	NA	R\$ 162,42	R\$ 140,61	NA	NA	NA
w3	NA	R\$ 238,79	NA	NA	NA	R\$ 170,30
w4	NA	R\$ 334,55	NA	NA	R\$ 103,64	NA
w5	NA	R\$ 301,21	NA	R\$ 100,61	NA	NA
w6	R\$ 204,24	R\$ 306,67	NA	NA	NA	NA
w7	NA	R\$ 252,12	NA	NA	NA	R\$ 176,97

Fonte: Empresa de Alimento Alpha

### 4.3. Modelagem em Planilha Eletrônica: Otimização

O modelo de otimização foi construído no *software* Microsoft Excel® (MS Office 2016®) com o auxílio do suplemento Solver® devido as suas funcionalidades conforme detalhado anteriormente no capítulo dois. O objetivo da modelagem, no cenário sem impacto de impostos, é minimizar o custo total (fixo e variável) para instalar a rede logística da empresa Alpha através de programação linear inteira. Sendo formulado com a respectiva função objetivo:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^u F_i y_i + \sum_{e=1}^w f_e y_e + \sum_{i=1}^u \sum_{e=1}^w c_{ie} x_{ie} + \sum_{e=1}^w \sum_{j=1}^d c_{ej} x_{ej} \quad (14)$$

Onde:

- $d$  = número de mercados ou pontos de demanda
- $u$  = número de locais de fábrica em potencial
- $w$  = número de locais de centro de distribuição em potencial
- $p$  = família de produto em potencial
- $D_j$  = demanda anual do cliente  $j$
- $K_i$  = capacidade da fábrica em potencial no local  $i$
- $W_e$  = capacidade do centro de distribuição em potencial no local  $e$
- $F_i$  = custo fixo de localizar uma fábrica no local  $i$
- $f_e$  = custo fixo de localizar um centro de distribuição no local  $e$

- $c_{ie}$  = custo de produzir e embarcar uma unidade da fábrica  $i$  para o centro de distribuição  $e$
- $c_{ej}$  = custo de embarcar uma unidade do centro de distribuição  $e$  para o mercado  $j$
- $y_i = 1$ , se a fábrica estiver localizada no local  $i$ ; caso contrário, 0
- $y_e = 1$ , se o centro de distribuição estiver localizado no local  $e$ ; caso contrário, 0
- $x_{ej}$  = Quantidade embarcada do centro de distribuição no local  $e$  ao mercado  $j$
- $x_{ie}$  = Quantidade embarcada da fábrica no local  $i$  ao centro de distribuição no local  $e$

Sendo que:

A quantidade produzida na fábrica não exceda sua capacidade conforme restrição na equação (15).

$$\sum_{e=1}^w x_{ie} \leq K_i y_i \quad \text{para } i = 1, \dots, u \quad (15)$$

Segundo a restrição na equação (16), a quantidade embarcada de um centro de distribuição não pode exceder a quantidade recebida das fábricas.

$$\sum_{i=1}^u x_{ie} - \sum_{j=1}^d x_{ej} \geq 0 \quad \text{para } e = 1, \dots, w \quad (16)$$

A quantidade embarcada por um centro de distribuição, segundo a restrição na equação (17), não pode exceder a sua capacidade.

$$\sum_{j=1}^d x_{ej} \leq W_e y_e \quad \text{para } e = 1, \dots, w \quad (17)$$

A quantidade embarcada ao cliente deverá suprir a demanda de acordo com a restrição na equação (18).

$$\sum_{e=1}^w x_{ej} = D_j \quad \text{para } j = 1, \dots, d \quad (18)$$

A restrição na equação (19) impõe que cada fábrica ou centro de distribuição esteja aberto ou fechado.

$$y_i, y_e \in \{0, 1\}; \quad x_{ej}, x_{ie} \geq 0 \quad (19)$$

O modelo teve as restrições enunciadas abaixo, que foram incluídas nos parâmetros do Solver<sup>®</sup>, conforme ilustrado na Figura 31.

- O fluxo anual por fábrica tem que ser menor ou igual a sua capacidade de produção conforme restrição na equação (15). E segundo a restrição na equação (16), a quantidade embarcada de um centro de distribuição não pode exceder a quantidade recebida das fábricas.
- De acordo a restrição na equação (17), o fluxo anual por centro de distribuição tem que ser menor ou igual a sua capacidade de expedição.
- Os fluxos anuais precisam ser maiores ou iguais a zero conforme formulação da não negatividade. E as células sobre decisão de abertura ou fechamento dos centros de distribuição tem que ser binárias (0-1) conforme restrição na equação (19).
- A oferta anual em toneladas por família de produto e região de demanda tem que ser igual à respectiva demanda anual em toneladas de acordo com a restrição na equação (18).

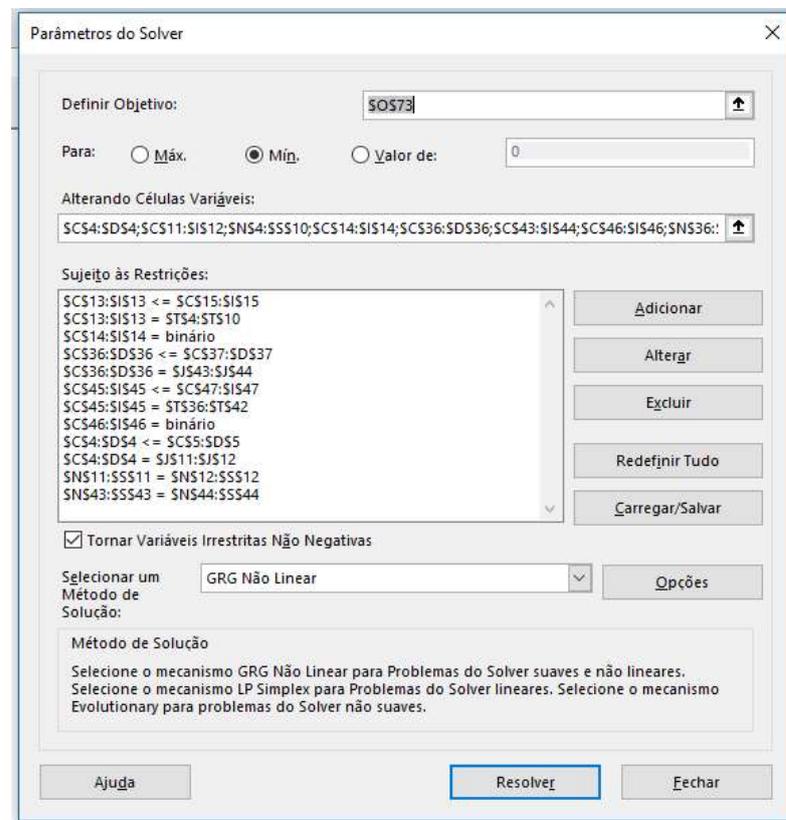


Figura 31 – Parâmetros do Solver<sup>®</sup>

O desenvolvimento desse modelo de otimização utilizou o método de solução não linear (GRG Não Linear) minimizando a célula de custo total anual da nova rede (O73) na Figura 31, que é a somatória do custo das instalações e de transporte, representado no modelo pelos custos anuais de produção, armazenagem, transferência e distribuição. A equação (20) representa o custo total da nova rede da cadeia de suprimentos.

$$Custo\ Total = Min \sum_{i=1}^u F_i y_i + \sum_{e=1}^w f_e y_e + \sum_{i=1}^u \sum_{e=1}^w c_{ie} x_{ie} + \sum_{e=1}^w \sum_{j=1}^d c_{ej} x_{ej} \quad (20)$$

**custo das instalações**

**custo de transporte**

(custos de produção e armazenagem) (custos de transferência e distribuição)

O impacto financeiro devido à tributação do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) entra na programação matemática como uma despesa segundo Wanke, Montebeller Jr e Tardelli (2009). Outra abordagem que poderia ser utilizada, segundo Chopra e Meindl (2010) e Martel e Vieira (2010), era maximizar a função objetivo de lucros após os impostos e tarifas enquanto atende ao nível de serviço dos clientes. Se a receita  $r_j$  é a receita de venda de uma unidade no mercado  $j$ , a função objetivo do modelo de localização dos centros de distribuição com base na capacidade e custos pode ser modificada para:

$$Lucro\ após = Max \sum_{j=1}^d \sum_{i=1}^u x_{ij} \left[ \sum_{i=1}^u F_i y_i + \sum_{e=1}^w f_e y_e + \sum_{i=1}^u \sum_{e=1}^w c_{ie} x_{ie} + \sum_{e=1}^w \sum_{j=1}^d c_{ej} x_{ej} \right] \quad (21)$$

#### 4.4. Modelagem no anyLogistix™ PLE: Simulação

O modelo de simulação foi construído no *software* anyLogistix™ PLE como exposto anteriormente no capítulo três, Método de Pesquisa. A Figura 32 ilustra os principais elos da respectiva cadeia de suprimentos, com duas fábricas, sete possíveis centros de distribuição e vinte e sete pontos de demanda, que posteriormente são agrupados em seis grandes áreas de demanda no Brasil.

anyLogistix PLE - Dissertacao  
File Extensions Settings Help

GFA NO [1] SIM [1] TO

Mestrado (sem ICMS)

Data

- Simulation experiment
- Variation experiment
- Comparison experiment
- Safety stock estimation
- Custom experiment
- External tables

New Scenario  
Import Scenario

Basic All In use [13]

Add Remove

Customers [26]

- DCs and Factories [9]
- Demand [52]
- Facility Expenses [4]
- Groups [11]
- Inventory [4]
- Locations [35]
- Paths [22]

#	Name	Type	Location	Inclusion Type	Icon
1	RS	Customer	RS location	Include	
2	SC	Customer	SC location	Include	
3	PR	Customer	PR location	Include	
4	MS	Customer	MS location	Include	
5	GO	Customer	GO location	Include	
6	MT	Customer	MT location	Include	

Figura 32 – Visualização simplificada da Rede no anyLogistix™ PLE

Fonte: Software anyLogistix™ PLE

A localização dos centros de distribuição são uma cidade do interior do estado de São Paulo - CD 1, Recife - CD, Porto Alegre - CD 3, Jundiaí - CD 4, Rio de Janeiro - CD 5, Confins - CD 6 e Araucária - CD 7. Os três primeiros centros de distribuição já estão funcionando. Junto com a Fábrica 1 interior do estado de São Paulo e a Fábrica 2 em Recife.

Os cenários determinados para o modelo com base na experiência profissional da pesquisadora foram:

- Rede Atual com inclusão do CD SP;
- Rede Atual com exclusão do CD RS e inclusão do CD SP;
- Rede Atual com exclusão do CD RS e inclusão do CD SP e CD PR;
- Rede Atual com exclusão do CD RS e inclusão do CD SP e CD RJ;
- Rede Atual com exclusão do CD RS e inclusão do CD SP e CD BH;
- Rede Atual com exclusão do CD RS e inclusão do CD SP, CD PR e CD BH;
- Rede Atual com exclusão do CD RS e inclusão do CD SP, CD RJ e CD BH;
- Rede Atual com exclusão do CD RS e inclusão do CD SP, CD RJ e CD PR;

O tipo de experimento utilizado foi de simulação. Os dados de entrada foram inseridos de forma manual; seus valores foram apresentados no item 4.2 (Definição de Variáveis). Com os dados salvos no banco de dados do projeto foram definidos os cenários anteriormente apresentados para a avaliação da rede de suprimentos em estudo.

As tabelas conforme apresentadas no *software* anyLogistix™ PLE encontram-se no anexo 7.7 (Tabelas do Banco de Dados do anyLogistix™ PLE).

A versão anyLogistix™ PLE possui algumas restrições em relação ao que cada cenário pode conter, como por exemplo, número de cem clientes, dez produtos, dez centros de distribuição e fábricas e três fornecedores. Também não está disponível estimativas de estoque de segurança, previsão de demanda, tamanho de frota, *milk-runs*, políticas de planejamento de necessidades de materiais (MRP), restrições personalizadas e pode processar 10 replicações.

#### **4.5. Avaliação dos Resultados**

As análises dos resultados obtidos na etapa anterior foram desenvolvidas em duas fases. Na primeira fase, os cenários gerados foram avaliados de forma independente explorando-se os aspectos internos inerentes aos mesmos. Na segunda fase foi utilizada uma abordagem de análise conjunta dos diferentes modelos.

#### 4.5.1. Resultados da Planilha Eletrônica

Como descrito na revisão da literatura, a programação linear com números inteiros (ILP) é uma importante área de otimização com restrições segundo Moore e Weatherford (2005). Na Tabela 11 observa-se respectivamente a utilização de uma variável binária (0 ou 1) para tomada de decisão de abertura ou fechamento dos centros de distribuição (w) no Brasil. Sendo que o número 0 corresponde a não abertura e o número 1, a abertura da instalação.

Tabela 11 – Decisão de Abertura ou Fechamento dos Centros de Distribuição

Variável Binária	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7
aberto ou fechado	1	1	-	1	-	-	-

A variável binária na Tabela 11 demonstra que os Centros de Distribuição w3, w5, w6 e w7 não devem ser utilizados na Nova Rede da Cadeia de Suprimentos no Cenário sem o Impacto de Impostos (ICMS).

Para o cenário sem ICMS, a Tabela 12 representa o custo total anual de produção, armazenagem, transferência e distribuição (R\$), totalizando o custo da nova rede da cadeia de suprimentos. Sendo o faturamento igual a R\$ 863.379.725 e o lucro de R\$ 365.984.511. A nova rede é ilustrada graficamente na Figura 33 através das duas fábricas (u) e três centros de distribuição (w).

Tabela 12 – Custo Total Anual da Nova Rede de Suprimentos sem ICMS

Custo de Produção	R\$ 402.910.538
Custo de Armazenagem	R\$ 32.308.437
Custo de Transferência	R\$ 4.023.671
Custo de Distribuição	R\$ 58.152.567
<b>Custo Nova Rede</b>	<b>R\$ 497.395.213</b>

O resultado da otimização do desenho de rede de suprimentos, no cenário sem impacto de impostos (ICMS), da indústria Alpha foi de redução do custo logístico em 8,43% e manutenção do nível de serviço no Brasil. Com exceção da região metropolitana de São Paulo que teve aumento de 15% no nível de serviço devido à abertura do CD São Paulo, localizado

respectivamente na cidade de Jundiaí, próximo a grande São Paulo, conforme ilustrado na Figura 33 .

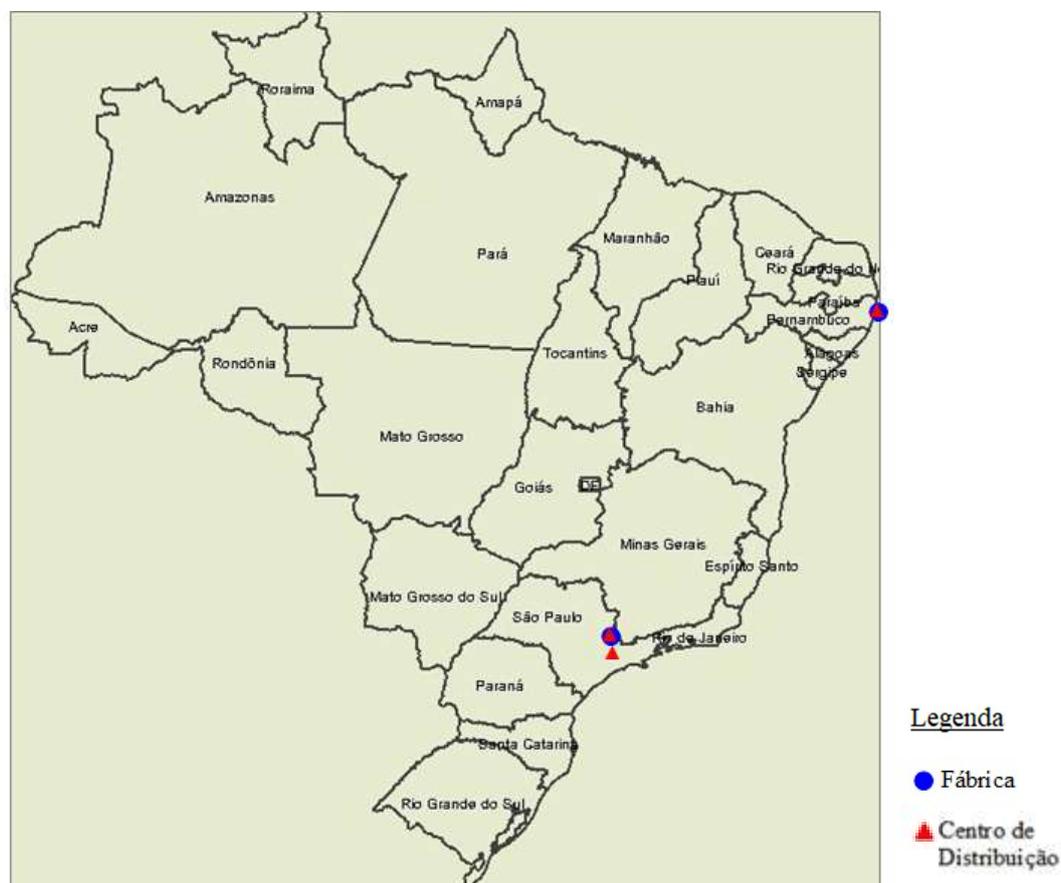


Figura 33 – Resultado gráfico do modelo de otimização da rede

Para o cenário com ICMS, a Tabela 123 representa o custo total anual de produção, armazenagem, transferência e distribuição (R\$), totalizando o custo da nova rede da cadeia de suprimentos. Sendo o faturamento igual a R\$ 863.379.725 e o lucro líquido de R\$ 397.990.246. Não houve alteração na abertura ou fechamento dos Centros de Distribuição em relação ao cenário sem ICMS.

Tabela 13 – Custo Total Anual da Nova Rede de Suprimentos com ICMS

Custo de Produção	R\$ 402.910.538
Custo de Armazenagem	R\$ 32.308.437
Custo de Transferência	R\$ 4.023.671
Custo de Distribuição	R\$ 58.152.567
ICMS Cred + Debito	-R\$ 32.005.735
<b>Custo Nova Rede</b>	<b>R\$ 465.389.479</b>

#### 4.5.2. Resultados do anyLogistix™PLE

Os oito cenários definidos na seção 4.4 foram simulados no *software* anyLogistix™PLE sem o impacto do ICMS conforme descrito anteriormente. A tabela 14 ilustra o resultado através do lucro da nova rede de suprimentos e o fluxo de volume em toneladas para cada cenário.

Tabela 14 – Resultados do modelo no anyLogistix™PLE

#	Sites	Profit (NetOpt)	Flows Amount
1	Iteration 1: CD1, CD2, FAB2, FAB1, CDSP	382,949,805.792	575,582
2	Iteration 2: CD1, CD2, FAB2, FAB1, CDSP, CDBH	382,869,805.792	575,582
3	Iteration 3: CD1, CD2, FAB2, FAB1, CDSP, CDPR	382,859,805.792	575,582
4	Iteration 4: CD1, CD2, FAB2, FAB1, CDSP, CDRJ	382,849,805.792	575,582
5	Iteration 5: CD1, CD2, FAB2, FAB1, CDRS, CDSP	382,839,805.792	575,582
6	Iteration 6: CD1, CD2, FAB2, FAB1, CDSP, CDBH, ...	382,779,805.792	575,582
7	Iteration 7: CD1, CD2, FAB2, FAB1, CDSP, CDRJ, C...	382,769,805.792	575,582
8	Iteration 8: CD1, CD2, FAB2, FAB1, CDSP, CDRJ, C...	382,759,805.792	575,582

Com base nos lucros obtidos através da simulação, o melhor cenário é o que representa a rede com as duas fábricas e seus respectivos centros de distribuição e a abertura do CD São Paulo e o fechamento do CD de Porto Alegre conforme ilustrado na figura 34.

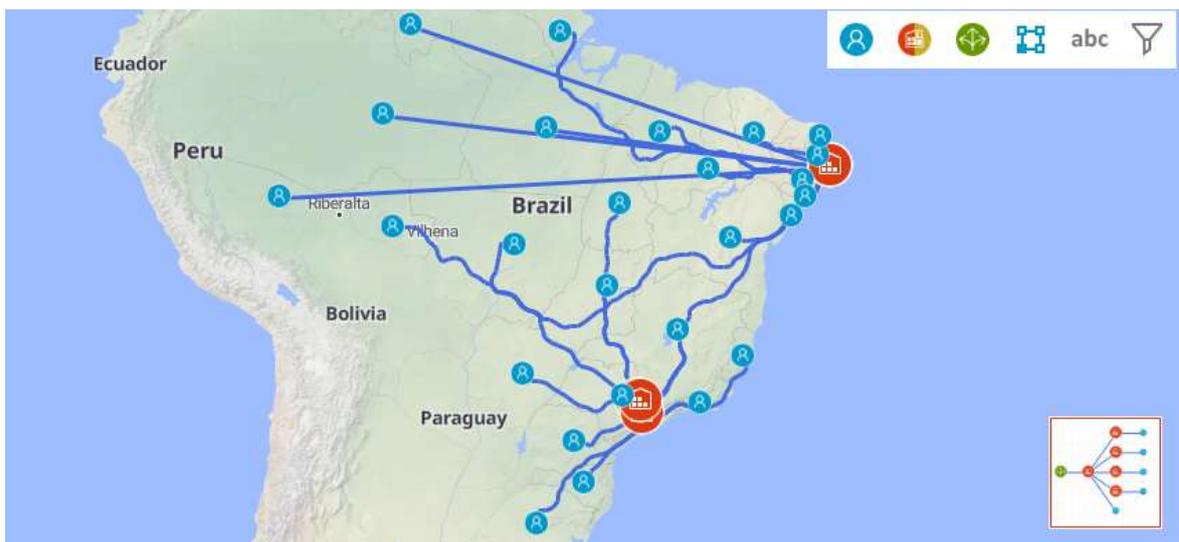


Figura 34 – Resultado gráfico do modelo de simulação da rede

### 4.5.3. Análise Comparativa dos Resultados

Na sequência é apresentado uma análise dos resultados considerando três enfoques, as ferramentas (*softwares*), os resultados da modelagem computacional e o potencial de aplicação.

A tabela 15 resume os principais aspectos relacionados às ferramentas de modelagem computacional adotadas neste trabalho. Destaca-se o custo de licença da planilha eletrônica que representa menos de 0,6% do custo da licença do *software* anyLogistix™ PLE.

A facilidade de uso da planilha eletrônica se deve a familiaridade dos usuários com a ferramenta em função da mesma estar disponível em praticamente a totalidade dos computadores pessoais e o *software* ser empregado a diversas aplicações pessoais e empresariais.

A velocidade de execução dos modelos em ambas às ferramentas é equivalente. Isso se deve em função do motor (algoritmos) de solução do problema de redes serem similares nas duas ferramentas.

Em relação à complexidade do processo de modelagem o desenvolvimento do modelo em planilha eletrônica pode ser considerado mais trabalhoso em virtude da necessidade do analista ou projetista de redes construir as estruturas e inter-relações do modelo de redes logísticas necessário. No caso do *software* anyLogistix™ PLE, esse processo de modelagem pode ser considerado menos complexo porque as estruturas para a representação da rede logística encontram-se parametrizadas.

Tabela 15 – Análise comparativa das ferramentas

<b><i>Softwares</i></b>	<b>Planilha Eletrônica</b>	<b>anyLogistix™ PLE</b>
Custo da licença	R\$ 389	R\$ 70.000
Facilidade de uso	fácil	média/difícil
Tempo/Rapidez de resultado	rápido	rápido
Complexidade para modelar	média/difícil	média

Os resultados da modelagem computacional, demonstrados na tabela 16, indicam a abertura e fechamento dos mesmos centros de distribuição; sem alteração no nível de serviço da nova rede de suprimentos. A comparação dos lucros obtidos nos cenários sem ICMS modelados na planilha eletrônica e *software* anyLogistix™ PLE variou apenas 4,43%, que demonstra a boa acuracidade da modelagem em planilha eletrônica. Como discutido

anteriormente, na seção 4.3 e 4.4, na planilha eletrônica é necessário fazer um conjunto maior de abstrações ou simplificações no modelo do que no *software* anyLogistix™PLE.

Tabela 16 – Análise comparativa dos resultados da modelagem computacional

<b>Resultados</b>	<b>Planilha Eletrônica</b>	<b>anyLogistix™ PLE</b>
CDs indicados	3	3
Lucro da Nova Rede de SC	R\$ 365.984.511	R\$ 382.949.806
Nível de Serviço	Sem alteração	Sem alteração

O potencial de aplicação, a contribuição prática de acordo com a Tabela 17, deste estudo é extremamente relevante porque a modelagem através de planilha eletrônica permite pequenas e médias empresas otimizarem suas redes de suprimentos com baixo custo e boa acuracidade.

As duas ferramentas são adequadas para modelagem de redes. No entanto nem toda empresa tem o volume de dados necessários para preencher as tabelas do *software* anyLogistix™PLE ou equipe com treinamento adequado. Além do investimento elevado para a obtenção do *software* ou contratação de consultoria especializada.

Tabela 17 – Análise comparativa do potencial de aplicação

<b>Potencial de Aplicação</b>	<b>Planilha Eletrônica</b>	<b>anyLogistix™ PLE</b>
Contribuição Prática	Permite pequenas e médias empresas otimizarem suas redes de suprimentos com baixo custo e boa acuracidade	Permite otimizar e simular a rede de suprimentos, mas é necessário maior tempo de treinamento e elevado investimento

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo busca inicialmente sumarizar as ideias principais e conclusões desta pesquisa. Na sequência apresenta oportunidades de melhorias e comentários sobre o trabalho desenvolvido e finaliza o capítulo com propostas e recomendações para futuras pesquisas.

O objetivo proposto deste trabalho era analisar duas modelagens computacionais, a programação matemática com o auxílio de planilha eletrônica (*software* Microsoft Excel<sup>®</sup>) e a simulação computacional (*software* anyLogistix<sup>TM</sup> PLE), para a tomada de decisão no planejamento do desenho de redes de suprimentos no Brasil.

A planilha eletrônica foi selecionada para modelagem baseada em programação matemática em função desta ferramenta de produtividade se encontrar disponível na maioria dos equipamentos, computadores pessoais e profissionais, e ser amplamente conhecida e utilizada pelos usuários.

Uma pesquisa sobre as ferramentas especialistas para modelagem de redes de suprimentos foi conduzida. Os dados primários e secundários obtidos respectivamente das empresas fornecedoras e de artigos científicos que comparavam as ferramentas permitiu identificar as principais características e funcionalidades destes pacotes de *software* disponíveis no mercado. Também foi possível identificar uma tendência de concentração de mercado na oferta de *softwares* especialistas, diversas empresas de pequeno e médio porte que atuavam no mercado encerraram no período de análise (20 anos) da pesquisa suas atividades ou foram adquiridas por empresas concorrentes.

Dentre os diversos avanços técnicos observados nessas ferramentas destacam-se os ganhos de velocidade e tempo de processamento das informações, a incorporação de representação espacial dos dados e a estrutura amigável para inserção de dados e elaboração dos cenários de análise.

Para execução da pesquisa adotou-se o método SNP, e para o desenvolvimento das etapas de modelagem computacional os processos clássicos de modelagem matemática e simulação computacional explicitados no capítulo de revisão da literatura. Quanto ao SNP, ressalta-se que seu emprego colaborou para organização, padronização e verificação das etapas de desenvolvimento da pesquisa. Sua estrutura encadeada permitiu definir de forma adequada as necessidades de levantamento de informação, a definição das variáveis de decisão, o planejamento dos cenários e os critérios de análise dos resultados.

Os resultados obtidos com os dois tipos de modelo são similares, com diferença de aproximadamente 4,4% no resultado da função objetivo lucro para o cenário sem impostos. Não foi possível realizar a análise comparativa entre os modelos para o cenário com impostos pela limitação do *software* anyLogistix™ PLE, o mesmo não permite tal parametrização.

Faz-se importante destacar as vantagens, desvantagens e limitações observadas nas ferramentas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho. A principal vantagem da planilha eletrônica é sua disponibilidade nos equipamentos e a familiaridade dos usuários com sua programação, que permite pequenas e médias empresas realizem seu desenho de redes de suprimentos de forma mais econômica.

Uma das desvantagens da planilha eletrônica é não permitir a visualização espacial das informações, porém o processo de modelagem pode ser considerado mais transparente. Os dados e as equações são apresentados e organizados em uma estrutura tabular, que é familiar para maioria dos usuários de computador, logo os modelos desenvolvidos em planilha eletrônica podem ser considerados mais inteligíveis pelos usuários.

Outro aspecto relevante é o processo de modelagem nas planilhas eletrônicas, onde parte considerável do esforço é empregado no desenvolvimento da mecânica do modelo, assim quanto maior ou mais complexo este se torna, mais difícil será sua manutenção e a identificação de erros.

Os *softwares* especialistas na modelagem de redes de suprimentos apresentam como vantagem um processo desenvolvimento sistematizado, o que permite a construção do modelo em menor tempo. Porém essa mesma característica imprime aos modelos desenvolvidos com estas ferramentas limitações relacionadas aos tipos de análise que podem ser conduzidas e as considerações que podem ser impostas aos sistemas. No caso do anyLogistix™ PLE não existe a possibilidade de considerar os efeitos de tributação no cálculo dos custos operacionais, essencialmente não é possível parametrizar o modelo para considerar as operações de crédito e débito que ocorrem na circulação das mercadorias, situação relevante no atual cenário tributário brasileiro que pode levar a significativas alterações da solução proposta para a rede de suprimentos.

Essa limitação das possibilidades de parametrização do modelo revela outra desvantagem dos *softwares* especialistas, os algoritmos ou motores de simulação empregados nessas ferramentas funcionam como modelos do tipo caixa preta.

Uma das vantagens dos *softwares* de simulação é a possibilidade de criação de cenários para análise dos seus impactos em custos e nível de serviço no planejamento do

desenho de redes de suprimentos. O planejamento não deveria ser estático a longo prazo devido a demanda dos clientes e capacidade dos fornecedores ou fabricantes oscilarem no decorrer dos anos, bem como os relacionamentos entre os elos da rede

Ao que tange as possibilidades de continuidade desta pesquisa recomenda-se que outras funcionalidades da ferramenta especialista escolhida sejam incorporadas a análise do projeto de redes logísticas. Como, por exemplo, os sistemas de controle de estoque do tipo máximo-mínimo, as parametrizações de sistemas e modais de transporte. Ressalta-se que estas funcionalidades estão disponíveis apenas na versão comercial da ferramenta.

Recentemente foram disponibilizados pacotes que permitem a representação espacial de dados em planilhas, sugere-se assim a incorporação desses pacotes como forma de mitigar uma das desvantagens desse processo de modelagem. Dentre os pacotes que permitem essa funcionalidade estão Maps do Google® e o MS Power Maps da Microsoft®.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIA (Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação). **Faturamento 2016**. Disponível em: < <http://www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2016.pdf> >. Acesso em: 23/05/2017.
- ABINPET (Associação Brasileira das Indústrias de Produtos para Animais de Estimação). **Dados de Mercado**. Disponível em: < <http://abinpet.org.br/site/mercado/> >. Acesso em: 07/10/2017.
- AnyLogic®. **AnyLogic Editions: PLE, Researcher, Professional**. Release Notes. Disponível em: < <https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fui%2F Editions.html> >. Acesso em: 04/01/2018
- ALMEDER, C.; PREUSSER, M.; HARTL, R. F. *Simulation and optimization of supply chains: alternative or complementary approaches?*. v. 31, n. 1, p. 95-119, 2009.
- AXELROD, R.; TEFATSION, L. *Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences*, In: TEFATSION, L. e JUDD, K. L. (Ed.). **Handbook of Computational Economics: Agent-Based Computational Economics**. New York: North-Holland, v. 2, p. 1.647-1.659, 2006.
- BAGHALIAN, A.; REZAPOUR, S.; FARAHANI, R. Z. *Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case*. **European Journal of Operational Research**, v. 227, n. 1, p. 199-215, 5/16/ 2013. ISSN 0377-2217. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221712009484> >.
- BALLOU, R. H. **Logística Empresarial: Transporte, Administração de Materiais e Distribuição Física**. 1ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, p. 113-115, 1993.
- BALLOU, R. H. **Business Logistics Management: Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain**. Instructor's Manual. Prentice Hall, 1999.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BANDINI, S.; MANZONI, S.; VIZZARI, G. *Agent Based Modeling and Simulation: An Informatics Perspective*. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 12, n. 4, p. 4, 2009. Disponível em: < <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/4.html> >.
- BERNSTEIN, F.; FEDERGRUEN, A. *Coordination mechanisms for supply chains*. **Manufacturing and Service Operations Management**, v. 9, p.3), p. 242–262, 2007.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D.J.; COOPER, M. B.; BOWERSOX, J. C. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. AMGH Editora, 2013.

- BORSHCHEV, A.; FILIPPOV, A. From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. The 22nd International Conference of the System Dynamics Society. Oxford 2004.
- BOYACI, T., GALLEGRO, G. *Supply chain coordination in a market with customer service competition. **Production and Operations Management***, v. 13, n. 1, p. 3–22, 2005.
- CHOPRA, S. *Designing the Delivery Network for a Supply Chain. **Transportation Research, Part E***, p. 39, 123-140, 2003.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operações**. 4ª. Prentice Hall, 2010.
- CORRÊA, H. L. **Gestão de redes de suprimento: integrando cadeias de suprimento no mundo globalizado**. Ed. Atlas, 2010. ISBN 9788522458509. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=DU9zRAAACA AJ> >.
- DENTON, A. et al. *Supply Chain Network Simulation and Optimisation-a Review. **MHD Supply Chain Solutions***, v. 38, n. 1, p. 42, 2008.
- DRTINA, R.; CORRÊA, H. L. *How Transfer Prices Can Affect a Supply Chain Strategic Decision. **International Journal of Logistics Systems and Management***, v. 8, n. 4, p. 363–376, 2011.
- FARAHANI, R. Z.; ELAHIPANAH, M. *A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for just-in-time distribution in a supply chain. **International Journal of Production Economics***, v. 111, n. 2, p. 229-243, 2008.
- FARAHANI, R. Z.; REZAPOUR, S.; DREZNER, T.; FALLAH, S. *Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications. **Omega***, v. 45, n. 0, p. 92-118, 6// 2014. ISSN 0305-0483. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030504831300090X> >. Acesso em: 13/03/2017.
- FUNAKI, K. "State of the Art Survey of Commercial *Software* for Supply Chain Design." December 28, 2009. Disponível em: < [http://www.scl.gatech.edu/research/supplychain/GTS CL\\_scdesign\\_software\\_survey.pdf](http://www.scl.gatech.edu/research/supplychain/GTS_CL_scdesign_software_survey.pdf) >. (2009). Acesso em: 24/09/2017.
- GEORGIADIS, M.C.; TSIAKIS, P.; LONGINIDIS, P.; SOFIOGLOU, M.K.. *Optimal design of supply chain networks under uncertain transient demand variations. **Omega***, v. 39, n. 3, p. 254-272, 2011. ISSN 0305-0483. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.07.002> >. Acesso em: 19/05/2017.

- GILBERT, N. **Agent-based models**. Los Angeles: Sage Publications, 2008.
- GILBERT, N.; TROITZSCH, K. **Simulation For The Social Scientist**. McGraw-Hill Education, 2005. ISBN 9780335216000. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=fBlaulpmNowC> >.
- GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Elsevier, 2005.
- HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN JR, R. O. **Simulation Using Promodel**. New York: McGraw Hill, 2004.
- KLIBI, W.; MARTEL, A.; GUITOUNI, A. *The design of robust value-creating supply chain networks: A critical review*. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 2, p. 283-293, 06/01/2010. ISSN 0377-2217. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221709004792> >.
- Lei nº 5.172, de 25 de Outubro de 1966, Art. 3ª do Código Tributário Nacional, Presidência da República do Brasil, Casa Civil. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L5172.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5172.htm) >. Acesso em: 02/04/2017.
- LIMA JR, O. F. Análise e avaliação do desempenho dos serviços de transporte de carga. **Caixeta-Filho, JV e Martins, RS**, 2001.
- LIOTTA, G. *Simulation of supply-chain networks: a source of innovation and competitive advantage for small and medium-sized enterprises*. **Technology innovation management review**, v. 2, n. 11, p. 13, 2012.
- LOUREIRO, S. A. **Análise dos impactos dos arranjos relacionais em transportes por modelo multiagentes**. 2014. Tese de Doutorado Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas.
- MARTEL, A.; VIEIRA, D. R. **Análise e projeto de Redes Logísticas**. 2ª Edição. São Paulo: Saraiva, 2010.
- MIRANDA, P. A.; GARRIDO, R. A. *Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand*. **Transportation Research Part E**, v. 40, p. 183-296, 2004.
- MOORE, J. H.; WEATHERFORD, L. R. **Tomada de decisão em administração com planilhas**. Bookman, 2005.
- MORAES, M. H.; SOUZA, F. A.; **Logística tributária e fiscal : aspectos fiscais e tributários no cotidiano das operações logísticas**. 2ª Edição. São Paulo: MAG, 2017.

- NATARAJAN, C. S.; HALES, H. L. **Planejamento sistemático de redes logísticas (SNP : *Systematic Network Planning*)**. São Paulo: Instituto IMAM, 2009.
- NAGURNEY, A. *Optimal supply chain network design and redesign at minimal total cost and with demand satisfaction*. *International Journal of Production Economics*, v. 128, n. 1, p. 200-208, 11// 2010. ISSN 0925-5273. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527310002616> >.
- NORTH, M. J.; MACAL, C. M. **Managing business complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation**. New York: Oxford University Press, 2007.
- ROBINSON, S. *Simulation: the practice of model development and use*. London: John Wiley & Sons Ltd, 2004
- SCM Desk. **Top 10 Supply Chain Network Design Software**. Acessado em 23/03/2017. Disponível em: < <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-supply-chain-network-design-software/> >.
- Resolução do Senado Federal nº 22, de 19 de maio de 1989. Estabelece alíquotas do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação, nas operações e prestações interestaduais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 maio 1989.
- SRIVASTAVA, S. K. *Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review*. *International journal of management reviews*, v. 9, n. 1, p. 53-80, 2007.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos projeto e gestão: conceitos, estratégias e estudos de caso**. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- TSAY, A., AGRAWAL, N. *Channel dynamics under price and service competition*. *Manufacturing Service Operations Management*, v.2, n. 4, p. 372–391, 2000.
- WANKE, P. F. **Aspectos fundamentais do problema de localização de instalações em redes logística**. Revista Tecnológica, São Paulo, 1ª mar. 2001.
- WANKE, P. F.; MONTEBELLER, J. E.; TARDELLI, R. V. **Introdução ao planejamento de redes logísticas: aplicações em AIMMS**. São Paulo: Atlas, 2009.
- XIAO, T.; YANG, D. *Price and service competition of supply chains with riskaverse retailers under demand uncertainty*. *International Journal of Production Economics*, v. 114, n. 1, p. 187–200, 2008.
- YANASSE, H.; ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R. **Pesquisa operacional**, v. 6, 2007.

YOSHIZAKI, H. T. Y. **Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do imposto de circulação de mercadorias e serviços**. 2002. Tese de Livre Docência Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo (USP), São Paulo.

YUE, S. **Simulação Logística - AnyLogistix<sup>TM</sup>**. Disponível em: < [www.news.soo56.com](http://www.news.soo56.com) >.

Acesso em: 14/11/2017.



## 7.2. Anexo II - Folha de Resumo das Variáveis

<b>FOLHA DE RESUMO DAS VARIÁVEIS</b>		Empresa: _____ de _____ Por: _____ Com: _____ Projeto: _____ Data: _____ Descrição do Projeto: _____																																																																				
<b>MODEL DESIGN CHARACTERISTICS</b>		<b>RESUMO DAS FONTES DE DADOS</b>																																																																				
Localizações incluídas Rotas incluídas Produtos incluídos Hierarquia de produtos Recursos incluídos Tipos de dados de demanda Duração dos dados de demanda Período de tempo Unidade de medida	<b>VISUALIZAÇÃO</b>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">ELEMENTO DE DADOS</th> <th style="text-align: center;">FONTE DE DADOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>RELACIONADO À DEMANDA E RECURSO</b></td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">1.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10.</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>RELACIONADO À CUSTO</b></td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">1.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10.</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>RESTRICÇÕES DO MODELO</b></td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">1.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9.</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10.</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ELEMENTO DE DADOS	FONTE DE DADOS	<b>RELACIONADO À DEMANDA E RECURSO</b>		1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.		<b>RELACIONADO À CUSTO</b>		1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.		<b>RESTRICÇÕES DO MODELO</b>		1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.	
ELEMENTO DE DADOS	FONTE DE DADOS																																																																					
<b>RELACIONADO À DEMANDA E RECURSO</b>																																																																						
1.																																																																						
2.																																																																						
3.																																																																						
4.																																																																						
5.																																																																						
6.																																																																						
7.																																																																						
8.																																																																						
9.																																																																						
10.																																																																						
<b>RELACIONADO À CUSTO</b>																																																																						
1.																																																																						
2.																																																																						
3.																																																																						
4.																																																																						
5.																																																																						
6.																																																																						
7.																																																																						
8.																																																																						
9.																																																																						
10.																																																																						
<b>RESTRICÇÕES DO MODELO</b>																																																																						
1.																																																																						
2.																																																																						
3.																																																																						
4.																																																																						
5.																																																																						
6.																																																																						
7.																																																																						
8.																																																																						
9.																																																																						
10.																																																																						
<b>SIMBOLOGIA</b>  PRODUÇÃO COM BALDEAÇÃO  FORNECEDOR EXTERNO  CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO  FORNECEDOR DE MATÉRIA PRIMA  PRODUTO ACABADO  MATÉRIA PRIMA	<b>PARÂMETROS</b>	<b>FÓRMULAS</b>	<b>SUPOSIÇÕES DO MODELO</b>																																																																			
	1.	1.	1.																																																																			
	2.	2.	2.																																																																			
	3.	3.	3.																																																																			
	4.	4.	4.																																																																			
	5.	5.	5.																																																																			
	6.	6.	6.																																																																			
	7.	7.	7.																																																																			
	8.	8.	8.																																																																			
	9.	9.	9.																																																																			
	10.	10.	10.																																																																			

### 7.3. Anexo III - Formulário de Validação de Referência

FORMULÁRIO DE VALIDAÇÃO DE REFERÊNCIA		Empresa: _____	Projeto: _____			
		Por: _____	Com: _____			
		Data: _____	Folha: _____ de _____			
VARIÁVEIS	UNIDADES DE MEDIDA	RESULTADOS DO MODELO	REAIS	VARIÂNCIA	✓ OK	NOTAS
<b>DEMANDA</b>						
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
<b>CUSTO</b>						
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
<b>RESTRIÇÕES</b>						
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
<b>NOTAS / EXPLICAÇÃO</b>						
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

Página 1

### 7.4. Anexo IV - Folha de Resumo de Cenário

<b>FOLHA DE RESUMO DE CENÁRIO</b>		Empresa: _____	Por: _____	Com: _____	Cenário: _____
		Projeto: _____	Data: _____	Folha: _____	de _____
					Descrição: _____
<b>VISUALIZATION</b>		<b>RESUMO DE CUSTOS</b>			
		<b>CUSTOS</b>	<b>CASOS DE CENÁRIO</b>		
			<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
		1.			
		2.			
		3.			
		4.			
		5.			
		6.			
		7.			
		8.			
		9.			
		10.			
		<b>CUSTOS TOTAIS</b>			
		<b>CASOS DE CENÁRIO</b>			
		<b>a</b>			
		<b>b</b>			
		<b>c</b>			
		<b>RESTRICÇÕES</b>			
		1.			
		2.			
		3.			
		4.			
		5.			
		6.			
		7.			
		8.			
		9.			
		10.			
<b>RESUMO DE RESULTADOS</b>		<b>RESUMO DA MONTAGEM</b>			
<b>DEMANDA</b>		<b>DEMANDA</b>			
1.		1.			
2.		2.			
3.		3.			
4.		4.			
5.		5.			
<b>RECURSO</b>		<b>RECURSO</b>			
1.		1.			
2.		2.			
3.		3.			
4.		4.			
5.		5.			
<b>FLUXO</b>		<b>ROTAS</b>			
1.		1.			
2.		2.			
3.		3.			
4.		4.			
5.		5.			
6.		6.			
		<b>SUPOSIÇÕES</b>			
		1.			
		2.			
		3.			
		4.			
		5.			
		6.			
		7.			
		8.			
		9.			
		10.			
		<b>NOTAS</b>			
		1.			
		2.			
		3.			
		4.			
		5.			

## 7.5. Anexo V - Formulário de Análise de Alternativas

FORMULÁRIO DE ANÁLISE DE ALTERNATIVAS

Empresa: \_\_\_\_\_ Projeto: \_\_\_\_\_  
 Por: \_\_\_\_\_ Com: \_\_\_\_\_  
 Data: \_\_\_\_\_ Folha: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

**ANÁLISE DE CUSTO** Por: \_\_\_\_\_ Com: \_\_\_\_\_

RESUMO DE CUSTO		REFERÊNCIA	ALTERNATIVAS			
			I	II	III	IV
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
CUSTOS ANUAIS TOTAIS						
ECONOMIAS ANUAIS SOBRE A REFERÊNCIA						

**ANÁLISE INTANGÍVEL** Pesado por: \_\_\_\_\_ Classificado por: \_\_\_\_\_ Calculado por: \_\_\_\_\_

FATOR / CONSIDERAÇÃO		WT.	REFERÊNCIA	ALTERNATIVAS			
				I	II	III	IV
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
EFEITOS TOTAIS INTANGÍVEIS							

NOTAS		REF.	NOME DO CENÁRIO
1.		I	
2.		II	
3.		III	
4.		IV	

DESCRIÇÃO DE AVALIAÇÃO				DIFERENÇA DE CUSTO EM RELAÇÃO À REFERÊNCIA				RESUMO
A	E	I	Valores: A = 4, E = 3, I = 2, O = 1, U = 0, X = -1	ECONOMIAS		CUSTOS AUMENTADO		
Quase Perfeito	O	Resultados comuns		-26% to -50%	0% to 5%			
Especialmente bom	U	Resultados não importantes		-16% to -25%	6% to 15%			
Resultados importantes	X	Não Aceitável		-5% to -15%	16% to 25%			
				0% to -5%	26% to 50%			

© Copyright 2007. CHANDRA NATARAJAN AND RICHARD MUTHER & ASSOCIATES - 178

### 7.6. Anexo VI - Formulário Detalhe e Faça

**FORMULÁRIO DETALHE E FAÇA**

Cobrindo: \_\_\_\_\_ Empresa: \_\_\_\_\_ Projeto: \_\_\_\_\_ Por: \_\_\_\_\_  
 Distribuição: \_\_\_\_\_ Status: \_\_\_\_\_ Descrição: \_\_\_\_\_ Com: \_\_\_\_\_  
 Reportado por: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Folha: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Task/Proj. No. and/or Description	Resp. of						Mais Programação
Work to do; Action to take							
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							

**PÓS IMPLEMENTAÇÃO E AUDITORIA**

RESUMO DE CUSTO	UN.	Economias Projetadas	Economias Atuais	Variância	Notas
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					

No.	NOTAS, EXPLICAÇÕES E LIÇÕES APRENDIDAS
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	

Data programada para iniciar o trabalho     
  Data programada para terminar o trabalho     
  Tempo total programado para o trabalho  
 Quantidade de trabalho realizado     
  Indicador de comunicação     
 (Cada período vertical representa uma unidade de tempo)

© Copyright 2007. CHANDRA NATARAJAN AND RICHARD MUTHER & ASSOCIATES - 768

### 7.7. Anexo VII – Tabelas do Banco de Dados anyLogistix™PLE

Name	Type	Location	Initially Open	Inclusion Type
CD1	DC	CD1 location	VERDADEIRO	Include
CD2	DC	CD2 location	VERDADEIRO	Include
CDRS	DC	CDRS location	FALSO	Consider
FAB2	Factory	FAB2 location	VERDADEIRO	Include
FAB1	Factory	FAB1 location	VERDADEIRO	Include
CDSP	DC	CDSP location	FALSO	Consider
CDRJ	DC	CDRJ location	FALSO	Consider
CDBH	DC	CDBH location	FALSO	Consider
CDPR	DC	CDPR location	FALSO	Consider

Facility	Expense Type	Value	Cost Unit
CDRJ	initialCost	R\$ 100.000	Reais
CDSP	initialCost	R\$ 35.000	Reais
CDBH	initialCost	R\$ 80.000	Reais
CDPR	initialCost	R\$ 90.000	Reais
CDRS	initialCost	R\$ 110.000	Reais

Source	Product	Type	Units	Cost	Cost Unit	Time Period
CD1	(All products)	OutShipmProc	ton	R\$112,44	Reais	(All periods)
CD2	(All products)	OutShipmProc	ton	R\$105,79	Reais	(All periods)
CDRS	(All products)	OutShipmProc	ton	R\$135,34	Reais	(All periods)
CDSP	(All products)	OutShipmProc	ton	R\$127,09	Reais	(All periods)
CDRJ	(All products)	OutShipmProc	ton	R\$137,25	Reais	(All periods)
CDBH	(All products)	OutShipmProc	ton	R\$139,46	Reais	(All periods)
CDPR	(All products)	OutShipmProc	ton	R\$143,83	Reais	(All periods)

Project Units	
Currency	Reais
Weight	ton
Volume	m <sup>3</sup>
Distance	km
Time	day

Facility	Product	Initial Stock, units
FAB1	Dry	393.000
FAB2	Dry	152.000
FAB1	Wet	70.000

Source	Expand Sources	Destination	Product	Min Throughput	Max Throughput
FAB1	FALSO	CDs Group	(All products)	0	0
CD SUL Alternativas	VERDADEIRO	Sul Clientes	(All products)	0	0
CD NONE Alternativas	VERDADEIRO	NONE Clientes	(All products)	0	0
CD COMG Alternativas	VERDADEIRO	COMG Clientes	(All products)	0	0
CD RJES Alternativas	VERDADEIRO	RJES Clientes	(All products)	0	0
CD SP Alternativas	VERDADEIRO	SP	(All products)	0	0
FAB2	FALSO	CD2	Dry	0	0
CDSP	FALSO	SP	(All products)	0	35100
CDBH	FALSO	COMG Clientes	(All products)	0	10323
CDRJ	FALSO	RJES Clientes	(All products)	0	23400
CDRS	FALSO	Sul Clientes	(All products)	0	7150
CDPR	FALSO	Sul Clientes	(All products)	0	22113
CD2	FALSO	NONE Clientes	(All products)	0	85000
CD1	FALSO	(All customers)	(All products)	0	188500

Name	Customers	Sites
CDs Group		List 1
COMG Clientes	List 2	
RJES Clientes	List 3	
Sul Clientes	List 4	
NONE Clientes	List 5	
CD SUL Alternativas		List 6
CD NONE Alternativas		List 7
CD RJES Alternativas		List 8
CD COMG Alternativas		List 9
CD SP Alternativas		List 10
Grupo Fabrica		List 11

List 1	List 2	List 3	List 4	List 5	List 6	List 7	List 8	List 9	List 10	List 11
CD1	MS	RJ	RS	BA	CD1	CD1	CD1	CD1	CD1	FAB2
CD2	GO	ES	SC	PA	CDRS	CD2	CDRJ	CDBH	CDSP	FAB1
CDRS	MT		PR	RO	CDPR					
CDSP	MG			AC						
CDRJ	TO			AP						
CDBH				AM						
CDPR				RR						
				MA						
				PI						
				PE						
				PB						
				CE						
				SE						
				AL						
				RN						

Name	Latitude	Longitude
CD1 location	-22,4319	-46,9578
CD2 location	-7,98495	-34,93549
CDRS location	-30,0331	-51,23
FAB2 location	-7,98491	-34,93551
FAB1 location	-22,411	-47,17529
RS location	-29,4396	-53,56934
SC location	-27,1569	-50,58105
PR location	-24,7668	-51,15234
MS location	-20,7972	-54,44824
GO location	-15,4113	-49,08691
MT location	-12,9189	-54,93164
MG location	-18,1041	-44,60449
RJ location	-22,5329	-43,19824
SP location	-22,0856	-48,12012
ES location	-19,7253	-40,40771
BA location	-12,4688	-41,19873
TO location	-10,2717	-48,2959
PA location	-5,50664	-52,88818
RO location	-11,7383	-62,70996
AC location	-9,88228	-69,87305
AP location	0,615223	-52,03125
AM location	-4,65308	-63,3252
RR location	1,098565	-61,52344
MA location	-5,74717	-45,68115
PI location	-8,16799	-42,60498
PE location	-8,86336	-36,62842
PB location	-7,29709	-35,66162
CE location	-5,87833	-39,70459
SE location	-11,1137	-37,39746
AL location	-9,88228	-36,45264
RN location	-6,03131	-35,50781
CDSP location	-23,1984	-46,87454
CDRJ location	-22,7255	-43,56354
CDBH location	-19,9972	-43,95802
CDPR location	-25,3685	-49,1415

Foram consideradas como as coordenadas dos estados brasileiros, as respectivas latitude e longitude de suas capitais por serem a principal região de demanda. Também não há alteração do custo do frete no raio de 100km das capitais.

Customer	Product	Demand Type	Time Period	Down Penalty	Up Penalty
PR	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::11261.0]	(All periods)	5000	5000
PR	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1983.0]	(All periods)	5000	5000
RS	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::15501.0]	(All periods)	5000	5000
RS	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::3277.0]	(All periods)	5000	5000
SC	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::8651.0]	(All periods)	5000	5000
SC	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1677.0]	(All periods)	5000	5000
SP	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::91774.0]	(All periods)	5000	5000
SP	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::12547.0]	(All periods)	5000	5000
AC	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::663.0]	(All periods)	5000	5000
AC	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::39.0]	(All periods)	5000	5000
AL	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::2921.0]	(All periods)	5000	5000
AL	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::243.0]	(All periods)	5000	5000
AM	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::6524.0]	(All periods)	5000	5000
AM	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::427.0]	(All periods)	5000	5000
AP	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1217.0]	(All periods)	5000	5000
AP	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::68.0]	(All periods)	5000	5000
BA	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::7792.0]	(All periods)	5000	5000
BA	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::803.0]	(All periods)	5000	5000
CE	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::8766.0]	(All periods)	5000	5000
CE	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::890.0]	(All periods)	5000	5000
ES	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::2772.0]	(All periods)	5000	5000
ES	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::351.0]	(All periods)	5000	5000
GO	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::5775.0]	(All periods)	5000	5000
GO	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::833.0]	(All periods)	5000	5000
MA	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1980.0]	(All periods)	5000	5000
MA	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::153.0]	(All periods)	5000	5000
MG	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::11964.0]	(All periods)	5000	5000
MG	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1538.0]	(All periods)	5000	5000
MS	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::2017.0]	(All periods)	5000	5000
MS	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::276.0]	(All periods)	5000	5000
MT	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1938.0]	(All periods)	5000	5000
MT	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::247.0]	(All periods)	5000	5000
PA	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::6370.0]	(All periods)	5000	5000
PA	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::484.0]	(All periods)	5000	5000
PB	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::3485.0]	(All periods)	5000	5000
PB	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::357.0]	(All periods)	5000	5000
PE	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::13606.0]	(All periods)	5000	5000
PE	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1819.0]	(All periods)	5000	5000
PI	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1234.0]	(All periods)	5000	5000
PI	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::87.0]	(All periods)	5000	5000
RJ	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::34603.0]	(All periods)	5000	5000
RJ	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::4596.0]	(All periods)	5000	5000
RN	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::5804.0]	(All periods)	5000	5000
RN	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::662.0]	(All periods)	5000	5000
RO	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::3943.0]	(All periods)	5000	5000
RO	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::433.0]	(All periods)	5000	5000
RR	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1168.0]	(All periods)	5000	5000
RR	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::49.0]	(All periods)	5000	5000
SE	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::1428.0]	(All periods)	5000	5000
SE	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::133.0]	(All periods)	5000	5000
TO	Dry	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::614.0]	(All periods)	5000	5000
TO	Wet	PeriodicDemand[period::365.0;quantity::48.0]	(All periods)	5000	5000

From	To	Cost Calculation	Cost Unit
FAB1 location	CD2 location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::66.21;unit::ton]	Reais
FAB1 location	CDRS location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::44.42;unit::ton]	Reais
FAB1 location	CDSP location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::23.48;unit::ton]	Reais
FAB1 location	CDRJ location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::39.93;unit::ton]	Reais
FAB1 location	CDBH location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::48.16;unit::ton]	Reais
FAB1 location	CDPR location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::30.51;unit::ton]	Reais
FAB2 location	CD1 location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::119.17;unit::ton]	Reais
FAB2 location	CDSP location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::108.53;unit::ton]	Reais
FAB2 location	CDRJ location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::87.36;unit::ton]	Reais
FAB2 location	CDBH location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::60.51;unit::ton]	Reais
CD1 location	COMG Clientes	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::171.27;unit::ton]	Reais
CDBH location	COMG Clientes	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::204.24;unit::ton]	Reais
CD2 location	NONE Clientes	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::140.61;unit::ton]	Reais
CD1 location	RJES Clientes	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::140.99;unit::ton]	Reais
CDRJ location	RJES Clientes	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::100.61;unit::ton]	Reais
CDSP location	SP location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::103.64;unit::ton]	Reais
CD1 location	SP location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::357.53;unit::ton]	Reais
CD1 location	Sul Clientes	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::231.0;unit::ton]	Reais
CDRS location	Sul Clientes	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::170.3;unit::ton]	Reais
CDPR location	Sul Clientes	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::176.97;unit::ton]	Reais
FAB1 location	CD1 location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::1.0E-5;unit::ton]	Reais
FAB2 location	CD2 location	TransportationCostCalculatorLinearVolume[b::0.0;k::1.0E-5;unit::ton]	Reais