



OTIMIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO A GERAÇÃO DE CRÉDITO MORTO E INCENTIVOS FISCAIS DE ICMS

Felipe Allevato Bernardo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título em Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Rio de Janeiro

Julho de 2012

OTIMIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO A GERAÇÃO
DE CRÉDITO MORTO E INCENTIVOS FISCAIS DE ICMS

Felipe Allevato Bernardo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D. Sc.

Prof. Samuel Jurkiewicz, D. Sc.

Prof. Peter Fernandes Wanke, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JULHO DE 2012

Bernardo, Felipe Allevato

Otimização de redes de distribuição considerando a geração de crédito morto e incentivos fiscais de ICMS / Felipe Allevato Bernardo. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XI, 80 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 78-79.

1. Projeto de rede. 2. ICMS. 3. Crédito morto. I. Leite, Laura Silvia Bahiense da Silva. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar aos meus pais e irmã por todo o apoio durante a vida e em especial durante o período do mestrado.

À minha orientadora Laura pela oportunidade de desenvolver este trabalho e pelas orientações.

Ao Roger Rocha pela ajuda no desenvolvimento da formulação e da dissertação como um todo.

Aos membros da banca, pelo suporte na revisão e comentários do trabalho.

À Catarina pela ajuda com as questões tributárias.

Aos amigos da Visagio pela ajuda na escolha do tema e desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos pelo apoio e compreensão da minha ausência em determinados momentos.

Ao corpo docente da COPPE e do Departamento de Engenharia de Industrial e aos funcionários do programa em especial à Andreia.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

OTIMIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO A GERAÇÃO
DE CRÉDITO MORTO E INCENTIVOS FISCAIS DE ICMS

Felipe Allevato Bernardo

Julho/2012

Orientadora: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Programa: Engenharia de Produção

O presente trabalho estuda a influência que o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) pode exercer sobre a escolha da localização de centros de distribuição. Para tal, foi desenvolvido um modelo matemático utilizando programação linear inteira mista para avaliar possíveis cenários de redes logísticas considerando o ICMS, geração de crédito morto e benefícios fiscais. A modelagem foi testada sobre um caso real de uma empresa brasileira prestadora de serviços técnicos, considerando-se três instâncias distintas, cada uma com diversos cenários.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

DISTRIBUTION NETWORK OPTIMIZATION WITH CREDIT BALANCE AND
ICMS FISCAL BENEFITS

Felipe Allevato Bernardo

July/2012

Advisor: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Department: Industrial Engineering

This research studies how the current Brazilian state sales tax for internal and interstate transportation operations can influence the decision of the location of distribution networks for warehouses. To determine this influence, a mixed integer linear programming model has been developed to evaluate logistic network scenarios with varying factors including taxes, worthless-credit and fiscal benefits. The mathematical model has been tested over a real case study based on a technical service provider Brazilian enterprise, considering three distinct scenarios, each one with different varying factors.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Relevância do Tema Estudado	1
1.2. Estrutura da Dissertação	2
2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA ESTUDADO.....	4
2.1. Fato Gerador	7
2.2. Sujeito Passivo.....	7
2.3. Alíquotas.....	7
2.4. Base de Cálculo	9
2.5. Princípio da Não-Cumulatividade	9
2.6. Incentivos Fiscais	11
2.7. ICMS e o projeto de rede de distribuição	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
4. MODELAGEM DO PROBLEMA	28
4.1. Premissas da Formulação	28
4.2. Formulação Matemática	28
4.3. Considerações da Formulação	31
5. DESCRIÇÃO DO CASO ESTUDADO.....	36
5.1. Parâmetros do Modelo.....	39
6. CENÁRIOS ESTUDADOS E RESULTADOS OBTIDOS	42
6.1. Estrutura dos Cenários.....	42
6.2. Caso Base	44
6.2.1. Análise sem Aspectos Fiscais (Análise Logística).....	46
6.2.2. Análise com Aspectos Fiscais	47
6.2.3. Análise com Aspectos Fiscais sem Crédito Morto.....	48
6.2.4. Análise com Aspectos Fiscais e Benefícios	50
6.2.5. Resumo do Caso Base	51

6.3.	Caso Norte e Nordeste	53
6.3.1.	Análise sem Aspectos Fiscais (Análise Logística).....	56
6.3.2.	Análise com Aspectos Fiscais	59
6.3.3.	Análise com Aspectos Fiscais sem Crédito Morto.....	61
6.3.4.	Análise com Aspectos Fiscais e Benefícios	63
6.3.5.	Resumo do Caso NNE.....	65
6.4.	Caso Sul.....	66
6.4.1.	Análise sem Aspectos Fiscais (Análise Logística).....	70
6.4.2.	Análise com Aspectos Fiscais	72
6.4.3.	Resumo do Caso Sul	74
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Percentual dos custos logísticos em relação ao PIB em 2004	2
Figura 2 – Rede de Distribuição	4
Figura 3– Resumo de alíquotas.....	8
Figura 4 – Fluxo financeiro e de mercadorias	10
Figura 5 – Saldo de ICMS com Variação da Localidade do CD.....	12
Figura 6 – Margem da Operação com Variação da Localidade do CD.....	13
Figura 7 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações.....	15
Figura 8 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações (<i>Markup</i> no CD-SP)	17
Figura 9 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações (Benefício ES).....	19
Figura 10 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações.....	20
Figura 11 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações.....	21
Figura 12 – Margem final de operações com e sem geração de crédito morto	32
Figura 13 – Demanda Agregada por UR	37
Figura 14 – Localização dos Centroides dos Fornecedores.....	38
Figura 15 – Possíveis Localidades para Abertura de CD	39
Figura 16 – Curva de Frete Fracionado (Transferência).....	40
Figura 17 – Curva de Frete Lotação (Distribuição).....	41
Figura 18 – Demandas dos Casos NNE e Sul.....	43
Figura 19 – Localidades do Cenário Base	44
Figura 20 – CDs de Petrolina e Juazeiro.....	45
Figura 21 – Mapa do Caso Base (Logístico)	46
Figura 22 – Custos do Caso Base (Logístico).....	47
Figura 23 – Custos do Caso Base (com ICMS).....	47
Figura 24 – Custos do Caso Base (com ICMS e Preço R\$ 34,00).....	48
Figura 25 – Mapa do Caso Base (com ICMS, sem Crédito Morto)	49
Figura 26 – Custos do Caso Base (com ICMS sem Crédito Morto).....	49
Figura 27 – Mapa do Caso Base (com ICMS e Benefícios)	50
Figura 28 – Custos do Caso Base (com ICMS sem Crédito Morto).....	50
Figura 29 – Resumo dos Custos dos Cenários do Caso Base	51
Figura 30 – Detalhe dos Custos dos Cenários do Caso Base.....	52
Figura 31 – Exemplo da Demanda no Nordeste	53
Figura 32 – Demandas por UF – Sistema NNE.....	54

Figura 33 – Suprimento por UF – Sistema NNE	54
Figura 34 – Fornecedores do Caso NNE	55
Figura 35 – Clientes (URs) do Caso NNE	56
Figura 36 – Possíveis CDs do Caso NNE	56
Figura 37 – Fluxos de Transferência do Cenário Logístico do Caso NNE	57
Figura 38 – Fluxos de Distribuição do Cenário Logístico do Caso NNE.....	58
Figura 39 – Custos do Cenário Logístico do Caso NNE	58
Figura 40 – Fluxos de Transferência do Cenário com ICMS do Caso NNE.....	60
Figura 41 – Custos do Cenário com ICMS do Caso NNE.....	60
Figura 42 – Custos do Cenário com ICMS, sem Crédito Morto do Caso NNE	61
Figura 43 – Fluxos de Transferência do Cenário com ICMS sem Crédito Morto do Caso NNE	62
Figura 44 – Fluxos de Distribuição do Cenário com ICMS sem Crédito Morto do Caso NNE	63
Figura 45 – Fluxos de Transferência do Cenário com ICMS e com Benefícios do Caso NNE	64
Figura 46 – Custos do Cenário com ICMS, com Benefícios do Caso NNE.....	65
Figura 47 – Detalhe dos Custos dos Cenários do Caso NNE	65
Figura 48 – Exemplo da Demanda no Sul	66
Figura 49 – Demandas por UF – Sistema Sul.....	67
Figura 50 – Suprimento por UF – Sistema Sul	67
Figura 51 – Fornecedores do Caso Sul	68
Figura 52 – Clientes (URs) do Caso Sul	69
Figura 53 – Possíveis CDs do Caso Sul.....	69
Figura 54 – Fluxos de Transferência do Cenário Logístico do Caso Sul	70
Figura 55 – Custos do Cenário Logístico do Caso Sul	71
Figura 56 – Fluxos de Distribuição do Cenário Logístico do Caso Sul.....	72
Figura 57 – Custos do Cenário com ICMS do Caso Sul.....	72
Figura 58 – Fluxos de Distribuição do Cenário com ICMS do Caso Sul	73
Figura 59 – Fluxos de Transferência do Cenário com ICMS do Caso Sul	74
Figura 60 – Detalhe dos Custos dos Cenários do Caso NNE	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alíquotas de ICMS dos Cenários Exibidos.....	14
Tabela 2 – Elos da Cadeia de Suprimentos Estudada	36
Tabela 3 – Tamanhos das instâncias	43
Tabela 4 – Margem nos CDs do Cenário com ICMS do Caso NNE.....	59
Tabela 5 – Volumes MA-MA-Cliente no Cenário com ICMS, sem Crédito Morto, do Caso NNE	62
Tabela 6 – Volumes por CD no Cenário com ICMS e com Benefícios (NNE)	64
Tabela 7 – Volumes por CD no Cenário com ICMS do Caso Sul.....	74

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa aprofundar os conhecimentos em um problema conhecido na literatura como Projeto de Rede ou *Facility Location Problem*. Consiste na definição da localização e quantidade de Centros de Distribuição (CDs), dada uma malha de fornecedores e consumidores para determinados produtos. Genericamente, o problema busca minimizar os custos logísticos da operação: transporte e armazenagem. Para tal, o problema é normalmente formulado como um modelo de programação linear inteira mista (PLIM).

O diferencial deste trabalho consiste no estudo do impacto da consideração de um imposto brasileiro que incide nas operações de transferência de produtos, o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Este imposto possui como característica ser estadual, e com diferentes alíquotas dependendo do par origem-destino, incidindo na operação logística de transporte, e tendo seu valor baseado no preço do produto transportado.

O objetivo desta dissertação foi o de desenvolver e testar uma formulação matemática que considere os aspectos fiscais, de modo a analisar o impacto deste imposto sobre a escolha da localização de centros de distribuição. A modelagem foi testada inicialmente sobre uma instância simplificada, de fácil entendimento, e posteriormente sobre mais dois casos reais de uma empresa prestadora de serviços no Brasil, que possui centros de distribuição para a armazenagem dos produtos insumos de seus serviços.

1.1. Relevância do Tema Estudado

A fim de mostrar a importância do tema, pesquisou-se a respeito da relevância das funções logísticas com relação ao PIB brasileiro e comparou-se com o valor arrecadado de ICMS. Segundo LIMA (2006), ilustrado na Figura 1 a seguir, no ano de 2004 os custos logísticos representaram cerca de 12,6% do PIB brasileiro, com destaque para o custo de transporte, com 7,5% do PIB (59% dentre os logísticos). Com relação à arrecadação de impostos, especificamente o ICMS, esta representou 7,83% do PIB

brasileiro em 2004, segundo a publicação Carga Tributária no Brasil (2005). Percebe-se que os custos com o ICMS equivalem a uma quantia semelhante ao maior dos custos logísticos e, portanto, pode ser de grande impacto na definição de uma malha logística.

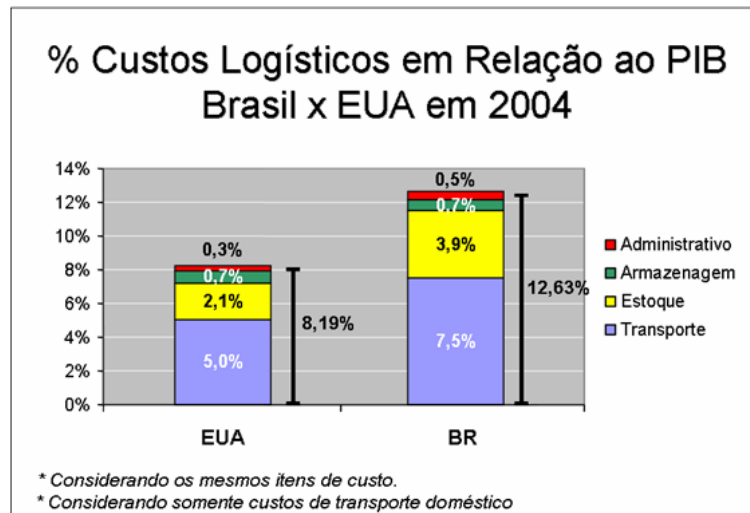


Figura 1– Percentual dos custos logísticos em relação ao PIB em 2004

Fonte: LIMA (2006)

1.2. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em oito capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução: Objetivo do trabalho, relevância do tema estudado e estrutura da dissertação;
- Capítulo 2 – Descrição do Problema Estudado: exposição sobre o modelo de rede logística e o tema ICMS, ilustrando toda a dinâmica do imposto na cadeia logística;
- Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica: breve histórico sobre o tema “modelagem de redes” e a inclusão da questão tributária em sua formulação;
- Capítulo 4 – Modelagem do Problema: apresentação da formulação matemática desenvolvida neste trabalho;
- Capítulo 5 – Descrição do Caso Estudado: apresentação e descrição do estudo de caso a ser testado com a modelagem implementada;
- Capítulo 6 – Cenários Estudados e Resultados: descrição de cada cenário estudado, apresentando os resultados e comparações entre cada caso;

- Capítulo 7 – Considerações Finais: apresentação das conclusões do trabalho e recomendações para estudos futuros;
- Capítulo 8 – Referências Bibliográficas: referências utilizadas durante o estudo.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA ESTUDADO

O problema estudado é conhecido na literatura como Projeto de Rede Logística, porém neste trabalho levar-se-á em consideração outro aspecto que não apenas o logístico: o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

De acordo com BALLOU (2006), que é uma referência clássica, o problema do projeto de rede consiste na especificação da estrutura na qual os produtos serão transportados desde os centros fornecedores até seus consumidores finais, passando ou não por centros de distribuição (CDs) intermediários. Para tal, são necessárias as definições da quantidade e das localizações desses CDs, dos fluxos de produtos a partir dos fornecedores e para a distribuição aos clientes, e dos níveis de estoque a serem mantidos em cada uma das instalações.

A Figura 5 ilustra um exemplo de rede de distribuição física na qual todos os produtos passam obrigatoriamente pelos CDs.

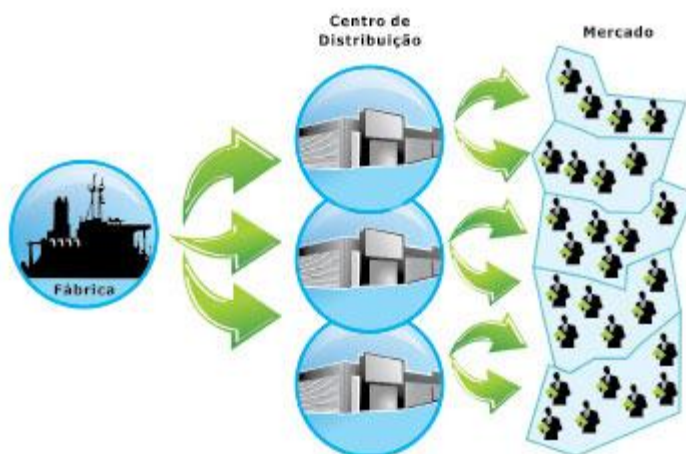


Figura 2 – Rede de Distribuição

Fonte: <http://www.tecnologistica.com.br/artigos/avaliacao-da-infl-uencia-de-aspectos-logisticos-fi-scais-e-ambientais-no-projeto-de-redes-de-distribuicao-fisica/>, consultado em 10/09/2011.

Ainda segundo o mesmo autor, para o planejamento de rede é necessário o levantamento de uma série de dados a respeito do negócio, donde destacam-se:

- Localização dos fornecedores de cada produto;

- Localização dos clientes;
- Demanda de cada produto por cada cliente;
- Tempos de transporte;
- Custos de transporte;
- Custos de compra/produção;
- Custo de capital;
- Custo de processamento dos pedidos;
- Custos das instalações;
- Níveis de estoque por produto;
- Metas de serviços aos clientes.

É importante ressaltar que por cliente pode-se entender lojas de varejo, muitas vezes pertencentes à mesma empresa de distribuição. Nelas, os produtos são vendidos aos verdadeiros clientes finais, porém, estes se deslocam até as lojas para efetuar as compras.

Quem melhor descreve detalhadamente o problema é BALLOU (2006): *“Encontrar o número, o tamanho e as localizações dos armazéns numa rede de cadeia de suprimentos, que venham a minimizar os custos fixos e variáveis lineares do transporte de todos os produtos ao longo da rede escolhida, sujeitos às seguintes condições:*

1. *O suprimento disponível das fábricas não pode ser excedido para cada produto;*
2. *A demanda de todos os produtos deve ser atendida;*
3. *O processamento de cada armazém não pode exceder sua capacidade;*
4. *Um processamento mínimo de armazéns deve ser atingido antes que ele entre em atividade;*
5. *Todos os produtos do mesmo cliente devem ser supridos a partir de um mesmo armazém”.*

É importante ressaltar que o último tópico da descrição proposta acima não foi considerado na modelagem matemática proposta neste trabalho. Considera-se que um cliente pode ser suprido por diferentes armazéns, inclusive para o mesmo produto, pois pode existir uma limitação na produção por parte de um dos fornecedores.

Uma referência mais recente é MELO et. al. (2009), que realiza uma revisão sobre modelos de redes logísticas. De acordo com os autores, o modelo mais simples é o caso em que um determinado número de armazéns deve ser aberto, minimizando a distância ou custos médios ponderados. Este é o problema da p-mediana e pressupõe que os custos fixos de cada instalação sejam iguais. Nos casos em que esta premissa não é válida, o problema é conhecido como *Uncapacitated Facility Location Problem* (UFLP). O desdobramento mais relevante deste último modelo é o *Capacitated Facility Location Problem* (CFLP), implicando que não necessariamente o atendimento de um determinado cliente será realizado pelo armazém mais próximo. Algumas características são comuns a todos esses modelos, dentre elas o fato de ser um período único de planejamento, parâmetros determinísticos, um único produto e um único tipo de CD.

Ainda segundo os autores, as evoluções destes casos, com o intuito de deixá-los mais aplicáveis a situações reais, buscam modelagens que consideram multi-períodos com variações nos parâmetros entre eles, a inclusão de parâmetros estocásticos geralmente devido à incertezas com relação às demandas e custos futuros. Outro aspecto importante é a necessidade de considerar o fluxo de mais de um produto na modelagem. Maiores referências da evolução dos modelos de rede, assim como o comparativo entre as principais formulações podem ser encontradas em MELO et. al. (2008), onde cada problema estudado é classificado com relação à quantidade de produtos, períodos e se são estocásticos ou determinísticos.

Somado a tudo isso, se deve considerar, ainda, a função de custos tributários. O ICMS é um imposto, que conforme MELO (2008), incide sobre operações relativas à circulação de mercadorias. Seu fato gerador é, portanto, a movimentação de produtos entre estabelecimentos, o que interfere diretamente em um projeto de rede logística localizado em território nacional.

A Lei Complementar Nº 87, de 13 de setembro de 1996, detalha sobre quais mercadorias o imposto incide, e comenta sobre o caso da substituição tributária, artifício utilizado em alguns setores produtivos para limitar a sonegação fiscal do imposto em questão, mas isto não foi abordado neste trabalho.

Conforme o artigo 19 da mesma lei, “o imposto é não cumulativo, compensando-se o que for devido em cada operação relativa à circulação de mercadorias ou prestação de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação com o montante cobrado nas [operações] anteriores pelo mesmo ou por outro estado”.

O artigo 20 relata que “para a compensação a que se refere o artigo anterior, é assegurado ao sujeito passivo o direito de creditar-se do imposto anteriormente cobrado em operações de que tenha resultado a entrada de mercadoria”.

Para um entendimento do tema ICMS – ao nível de detalhamento necessário para o desenvolvimento da modelagem proposta – é preciso compreender seis aspectos, a saber, fato gerador; sujeito passivo; alíquotas; base de cálculo; princípio da não-cumulatividade e incentivos fiscais, que serão explicitados a seguir.

2.1. **Fato Gerador**

Conforme Melo (2008), o *fato gerador* do imposto é a movimentação de mercadorias entre estabelecimentos, ainda que de mesmo titular. Não são tributadas operações de transporte referente a livros, jornais, periódicos, energia elétrica, petróleo, ouro e outras exceções contidas na Lei Kandir (Lei Complementar 87/1996).

2.2. **Sujeito Passivo**

O *sujeito passivo* do tributo, contribuinte, ainda segundo a Lei Kandir, é qualquer pessoa física ou jurídica que realize operações de circulação de mercadoria ou prestação de serviço de transporte, com regularidade, ou em volume que possa ser caracterizado como intuito comercial. Imaginando um fluxo de produtos de uma instalação A para uma instalação B, o contribuinte do ICMS será o proprietário original da mercadoria (pessoa física ou jurídica A).

2.3. **Alíquotas**

As *alíquotas* vigentes para o cálculo do ICMS, para operações intraestaduais, são de 19% (RJ), 18% (MG, PR, SP) ou 17% (demais estados). Para operações interestaduais, originadas nos estados do Sul ou Sudeste, excluindo o ES, têm-se valores de 7%. Para

movimentações originadas nos demais estados a alíquota é de 12%, segundo Figura 3 a seguir.

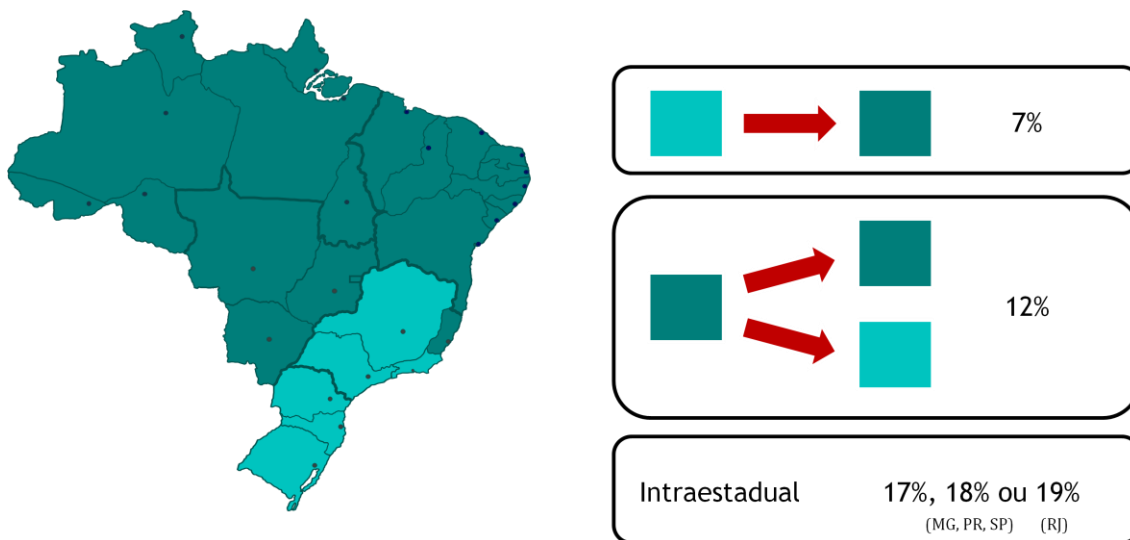


Figura 3– Resumo de alíquotas

Fonte: Autoria própria

Além das diferentes alíquotas para cada par origem-destino, outra particularidade do ICMS é o “cálculo por dentro”. A fórmula de cálculo por dentro para impostos desta categoria é a seguinte:

$$\text{ICMS} = \frac{\text{Valor do Produto} - \text{Valor do Produto}}{(1 - \text{Alíquota})}$$

Para uma transferência de uma mercadoria de R\$ 100,00 o valor do ICMS pago (supondo alíquota de 12%) será, então, de:

$$\text{ICMS} = \frac{100}{(1 - 0,12)} - 100 = 13,64$$

Percebe-se que, neste caso, os 12% quando calculados por dentro, equivalem a 13,64% quando calculados da forma padrão.

Devido às diferentes alíquotas, que dependem da origem e do destino da movimentação, tem-se a ideia de que, dependendo do posicionamento da indústria, é possível obter vantagens fiscais. Este tema será abordado mais a frente neste trabalho.

2.4. **Base de Cálculo**

A *base de cálculo* estabelece sobre que valor deve ser calculado o imposto devido. No caso do ICMS, é calculado sobre o valor da mercadoria na saída do estabelecimento de origem. No caso de prestação de serviços de transporte, é calculado sobre o preço do serviço (Lei Complementar 87/1996, artigo 13). Para nossas análises, serão considerados os preços dos produtos no momento das movimentações, ou seja, preço de compra somado ao valor adicionado ao produto (ou *markup* do vendedor), quando existir.

2.5. **Princípio da Não-Cumulatividade**

Os artigos 19 e 20, da Lei Complementar 87/1996, anteriormente citados neste documento, discorrem a respeito do *princípio da não-cumulatividade* do ICMS. Para garantir tal princípio, existe um sistema de débitos e créditos que possibilitam que o pagamento seja realizado apenas sobre o valor agregado em cada operação (SILVA, 2007).

Supondo a cadeia produtiva apresentada na Figura 4, constituída por três elos (fornecedor, indústria e consumidor), tem-se o seguinte fluxo físico e financeiro:

1. O fornecedor vende a matéria prima para o processo produtivo na indústria por R\$ 100,00.
2. A transferência deste produto acarreta o recolhimento de R\$ 13,64 de ICMS, supondo uma alíquota de 12%.
3. A indústria paga ao seu fornecedor a quantia de R\$ 113,64, conforme nota fiscal, sendo que deste valor R\$ 100,00 são para o pagamento da matéria prima,
4. e R\$ 13,64 (4) para o pagamento do imposto.
5. A indústria adiciona valor à matéria prima,
6. e vende o novo produto, ao consumidor final, pelo valor de R\$ 200,00.
7. A movimentação deste produto acarreta um imposto de R\$ 27,27 supondo alíquota de 12%.

8. O consumidor final paga na nota fiscal a quantia de R\$ 227,27, referentes a R\$ 200,00 pelo produto,
9. e R\$ 27,27 (9) pelo ICMS.

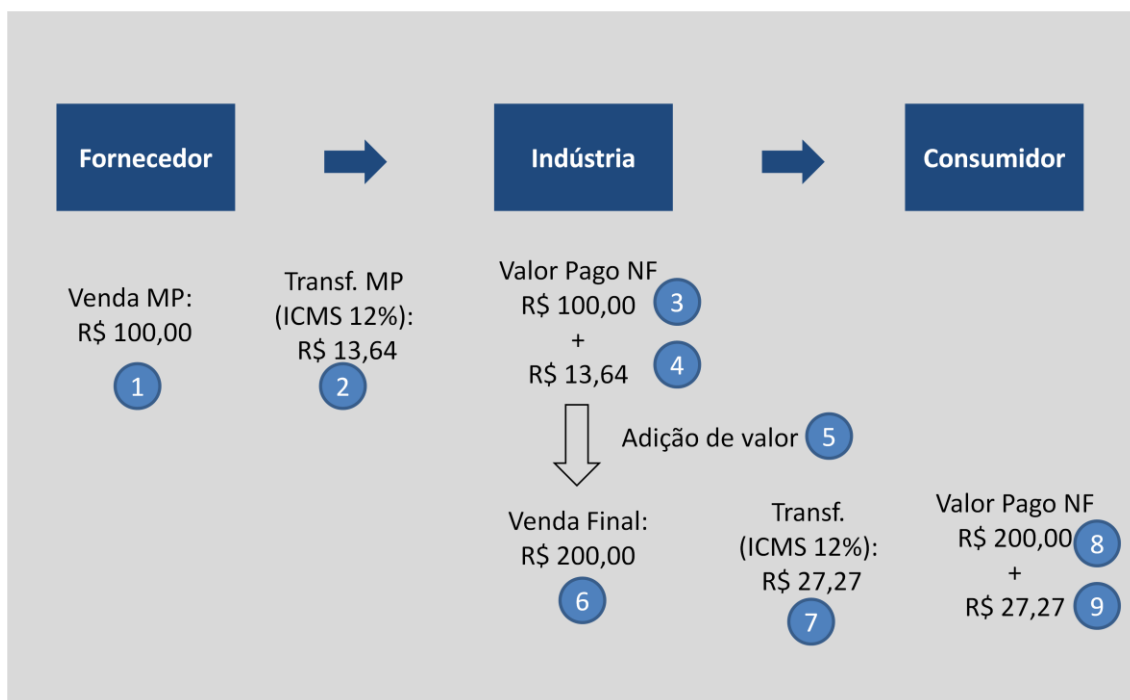


Figura 4 – Fluxo financeiro e de mercadorias

Fonte: Autoria própria

Da maneira como está estruturado o fluxo, percebe-se que o elo que efetivamente está desembolsando o valor do ICMS é sempre o elo que recebe a mercadoria, enquanto a lei estabelece que o contribuinte seja aquele que envia o produto. É o sistema de débitos e créditos que regulariza esta questão. A indústria ao comprar sua matéria prima fica credora em (4), assim como ao vender seu produto, fica devedora em (9). O correto seria pagar ao Fisco o valor (9), correspondente à transferência do material, porém, como já pagou (4) pela operação anterior, pagará apenas o saldo de $(9) - (4) = \text{R\$ } 13,63$.

Esta sistemática, aliada ao cálculo do imposto apenas sobre o valor do produto, sem considerar os impostos já pagos, garante o princípio da não-cumulatividade.

2.6. Incentivos Fiscais

MELO (2008) destaca que “os *incentivos fiscais* manifestam-se [...] desde a forma imunitária até a de investimentos privilegiados, passando pelas isenções de créditos, bonificações, créditos especiais e outros”, o “fim único é, sempre, o de impulsionar ou atrair, os particulares para a prática das atividades que o Estado elege como prioritárias [...] ao desenvolvimento econômico e social”.

Essas vantagens são genericamente classificadas como:

- Fiscais: isenções ou reduções do imposto;
- Financeiras: financiamento do pagamento do imposto e aquisição de ativos;
- Estímulo para infraestrutura: doação ou venda de terrenos a preços reduzidos.

Neste trabalho serão considerados os benefícios fiscais de reduções de impostos na forma de crédito presumido, definido por SILVA (2007) como uma redução, concedida pelo Estado, do valor total devido do imposto conforme a nota fiscal, porém, sem alteração do valor no documento. A redução é efetuada no momento do pagamento do imposto.

Com esta possibilidade de isenções fiscais, dá-se início ao que é conhecido como guerra fiscal, onde os diversos estados do país fornecem incentivos fiscais a fim de atrair indústrias para seus territórios.

2.7. ICMS e o projeto de rede de distribuição

Com o exposto nos itens anteriores sobre as diferentes alíquotas, uma análise pouco aprofundada pode gerar conclusões equivocadas, pois pode parecer que, dependendo do local de escolha de uma instalação, podem-se pagar menos impostos, devido a uma alíquota menor, o que influenciaria diretamente na modelagem da rede de distribuição.

Para exemplificar esta questão, criou-se o exemplo da Figura 5 a seguir, baseado em SILVA (2007).

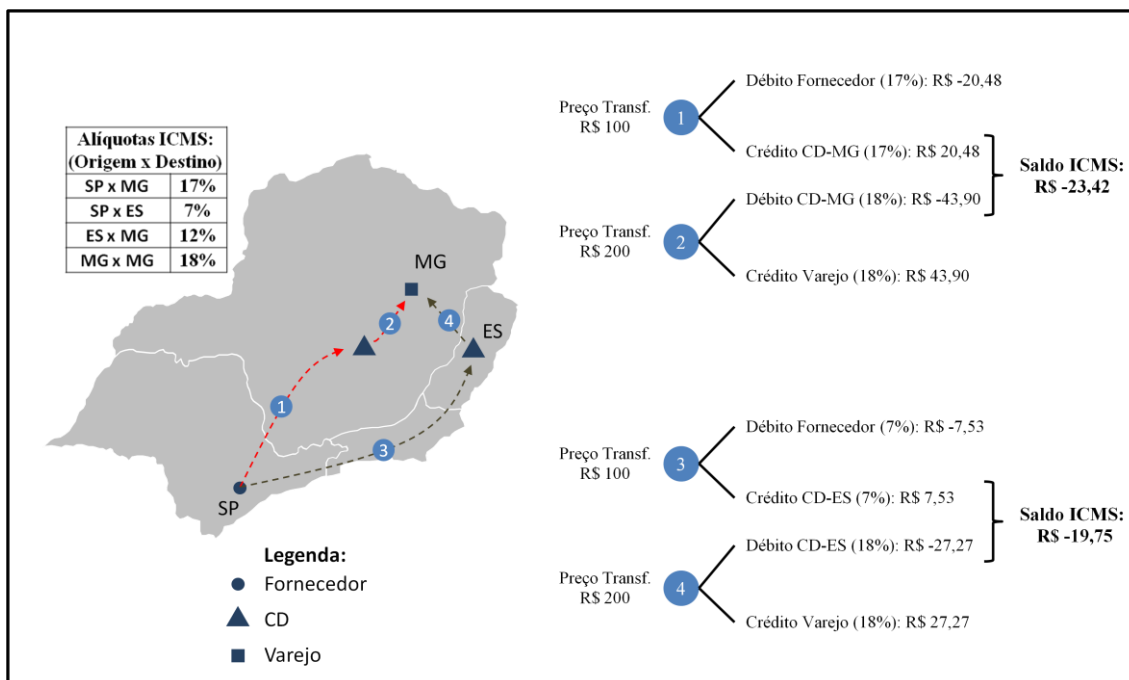


Figura 5 – Saldo de ICMS com Variação da Localidade do CD

Fonte: Autoria própria

No exemplo da Figura 5 é necessário entregar uma mercadoria em Minas Gerais e o fornecedor está localizado em São Paulo. O preço de compra do produto no fornecedor é de R\$ 100,00 e o preço de revenda ao cliente final (varejo) é de R\$ 200,00. Para tal, uma transportadora possui duas opções onde localizar seu CD: Espírito Santo ou Minas Gerais. Como o objetivo é o entendimento do impacto das tributações de ICMS, são desconsiderados outros custos, como o de transporte ou da instalação do CD.

No caso da localização do CD no estado de Minas Gerais, o fluxo é composto das transferências (1) e (2). Em (1), gera-se um débito no fornecedor de R\$ -20,48 e o CD fica credor em R\$ 20,48. Em seguida, em (2), o CD distribui para o cliente final, agora ao valor de R\$ 200,00, e se debita em R\$ -43,90 por esta operação. Seu saldo devedor ao Fisco é dado pelos seus créditos subtraídos de seus débitos, ou seja, R\$ 20,48 - R\$ 43,90 = R\$ -23,42.

Caso o CD seja instalado no Espírito Santo, as alíquotas são diferentes (e no caso, menores que do cenário anterior). No fluxo (3), o crédito no CD é de R\$ 7,53. Na

transferência final para o varejo, o débito no CD é de R\$ -27,27, sendo o saldo final devedor de R\$ 7,53 - R\$ 27,27 = R\$ -19,75.

Seguindo este raciocínio conclui-se que, com a simples escolha da localização, é possível uma economia de quase 16% em relação ao ICMS pago ao Fisco. Entretanto, esta abordagem considera apenas os custos com tributos, não contabilizando a margem do produto em cada caso. No primeiro caso (1), consegue-se um crédito maior, porém este provém de uma compra de maior valor, pois a nota fiscal será de R\$ 120,48. Já no segundo caso (3), o valor total da compra é de R\$ 107,53.

Se, em vez de focalizarmos as análises apenas no valor pago de ICMS, verificarmos a margem da operação, perceberemos que, na realidade, ambas alternativas tiveram o mesmo desempenho. É a chamada *margem da operação*, ilustrada na Figura 6 a seguir.

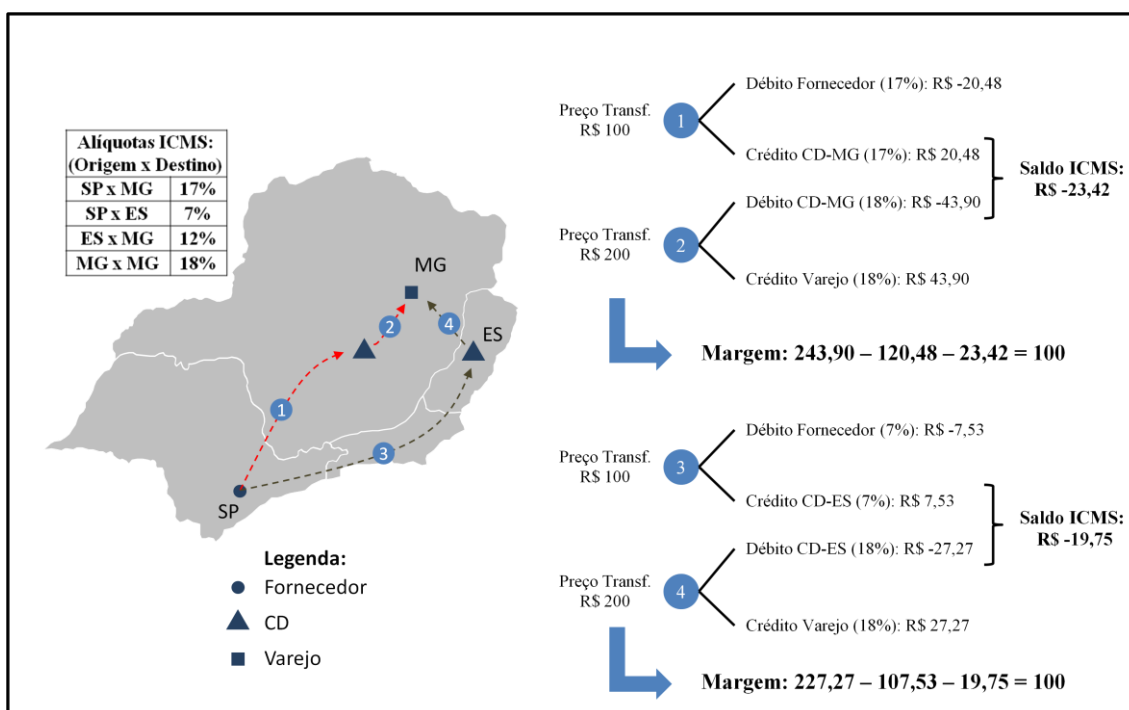


Figura 6 – Margem da Operação com Variação da Localidade do CD

Fonte: Autoria própria

Na Figura 7 é exibido um quadro, que busca generalizar mais o exposto acima. São considerados quatro etapas do fluxo:

1. Compra da matéria prima pelo fornecedor;

2. Compra do produto (transferência para o CD);
3. Transferência do CD para a loja;
4. Venda na loja para o consumidor final.

O objeto de estudo deste trabalho (modelo matemático desenvolvido) considera apenas as etapas 2 e 3, porém, optou-se por incluir a etapa 1 e 4, para avaliar possíveis impactos ao longo da cadeia. O fluxo principal é, portanto, composto pela compra de um determinado produto, seu envio a um centro de distribuição e, posteriormente, às lojas do varejo, onde os CDs e as lojas pertencem a um mesmo proprietário. Como o CD apenas armazena e redistribui as mercadorias, considerou-se que este não agrega nenhum valor ao produto, então seu *markup* é de 0%.

Foram considerados, inicialmente, três cenários, variando-se a localização do CD. No primeiro (Cen1), o CD encontra-se em São Paulo; no segundo (Cen2), o CD encontra-se no Espírito Santo; e no terceiro (Cen3), em Minas Gerais. Estas configurações foram escolhidas para testar a utilização de diferentes alíquotas de ICMS.

Em todos os casos, o fornecedor é localizado em São Paulo, com seu fornecedor de matérias primas, também em São Paulo. A loja de destino está, em todos os cenários, em Minas Gerais e considerou-se que os clientes finais são do mesmo estado. Tais considerações implicam em uma alíquota de 18% para a transferência entre o fornecedor de matéria-prima e o fornecedor (SP x SP), assim como na venda das lojas para seus clientes (MG x MG), conforme exibido na Tabela 1 a seguir.

Alíquotas ICMS: (Origem x Destino)	
SP x SP	18%
SP x MG	17%
SP x ES	7%
ES x MG	12%
MG x MG	18%

Tabela 1 – Alíquotas de ICMS dos Cenários Exibidos

Fonte: Resolução do Senado Federal n. 22/89

ETAPAS DO FLUXO				RESUMO POR ELO			
	Cen1	Cen2	Cen3		Cen1	Cen2	Cen3
	SP-SP-MG	SP-ES-MG	SP-MG-MG		SP-SP-MG	SP-ES-MG	SP-MG-MG
1 - Compra MP pelo Fornecedor				Fornecedor			
Alíquota	18%	18%	18%	Fluxos Positivos			
				Crédito compra MP	21,95	21,95	21,95
Valor Produto	100	100	100	Recebimento pela venda	243,90	215,05	240,96
Valor NF	121,95	121,95	121,95	Fluxos Negativos			
Débito Fábrica	-21,95	-21,95	-21,95	Débito pela venda	-43,90	-15,05	-40,96
Crédito Fornecedor	21,95	21,95	21,95	Pagamento MP	121,95	121,95	121,95
				Balanco ICMS	-21,95	6,90	-19,01
				Resultado final	100,00	93,10	100,00
2 - Compra do material - Transferência para o CD				CD			
Alíquota	18%	7%	17%	Fluxos Positivos			
Markup Fornecedor	100%	100%	100%	Crédito pela transferência	43,90	15,05	40,96
Valor Produto	200	200	200	Recebimento pela transferência	240,96	227,27	243,90
Valor NF	243,90	215,05	240,96	Fluxos Negativos			
Débito Fornecedor	-43,90	-15,05	-40,96	Débito pela transferência	-40,96	-27,27	-43,90
Crédito CD	43,90	15,05	40,96	Pagamento do produto	243,90	215,05	240,96
				Balanco ICMS	2,94	-12,22	-2,94
				Resultado final	-2,94	0,00	0,00
					SP	ES	MG
3 - Transferência do CD para a loja				Loja			
Alíquota	17%	12%	18%	Fluxos Positivos			
Markup Transferência	0%	0%	0%	Crédito pela transferência	40,96	27,27	43,90
Valor Produto	200	200	200	Recebimento pela transferência	487,80	487,80	487,80
Valor NF	240,96	227,27	243,90	Fluxos Negativos			
Débito CD	-40,96	-27,27	-43,90	Débito pela transferência	-87,80	-87,80	-87,80
Crédito Loja	40,96	27,27	43,90	Pagamento do produto	240,96	227,27	243,90
				Balanco ICMS	-46,84	-60,53	-43,90
				Resultado final	200,00	200,00	200,00
					MG	MG	MG
4 - Venda pela loja ao consumidor final				Resultado final CD e Loja			
Alíquota	18%	18%	18%	Resultado final da Cadeia	197,06	200,00	200,00
Markup	100%	100%	100%		297,06	293,10	300,00
Valor Produto	400	400	400				
Valor NF	487,80	487,80	487,80				
Débito Loja	-87,80	-87,80	-87,80				

Figura 7 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações

Fonte: Autoria própria

Na Figura 7, a coluna da esquerda, “Etapas do Fluxo”, detalha para cada uma das transferências: a alíquota vigente, o *markup* adicionado pelo elo anterior, o preço do produto após o *markup* e o valor efetivamente pago em nota fiscal (composto do valor com *markup* e o ICMS). Em seguida são identificados os débitos e créditos gerados pela operação.

Na coluna da direita da Figura 7, é exibido, para cada elo, um resumo das operações, dividido em fluxos de caixa positivos (crédito de ICMS na transferência de entrada e valor recebido na operação de saída) e fluxos negativos (débito de ICMS gerado na transferência de saída e o pagamento pela entrada do produto). Ao final de cada elo, é destacado o balanço de ICMS do elo, no cenário, e o resultado final.

Ao final da coluna da direita, é apresentado o resultado global da operação (para o elo CD+loja e para a cadeia como um todo) e um quadro resumo com os valores de ICMS por estado.

Antes de uma análise mais apurada da Figura 7, alguns pontos devem ser destacados:

- O sistema de créditos e débitos de ICMS é realizado para cada proprietário e por unidade federativa (UF). Isso implica que, um débito em um determinado estado não pode ser abatido por um crédito em outro estado;
- Ao final das operações, caso uma instalação fique devedora, ela deverá prestar contas ao Fisco pagando o valor devedor;
- Em uma transferência padrão o crédito de uma instalação é em cima do preço de entrada e o débito em cima do preço de saída. Como as operações, em geral, agregam valor ao produto, o preço de saída será maior que o de entrada e assim o débito será maior que o crédito;
- Caso uma instalação fique credora, está não receberá este valor do Fisco, apenas ficará com crédito para futuras operações. Nestes casos considera-se este crédito como custo do cenário. O resultado final é calculado considerando o valor recebido pela venda subtraindo o valor pago na compra e o débito (apenas) de ICMS: $\text{PreçoVenda} - \text{PreçoCompra} + \text{Mínimo}(\text{SaldoICMS}, 0)$.

Após o exposto acima, pode-se chegar às seguintes conclusões sobre a Figura 7:

1. O CD de São Paulo, por não adicionar *markup* e possuir alíquota de entrada maior que a de saída (18% contra 17%), ficou com um crédito não utilizado de R\$ 2,94, considerado como custo e, portanto, prejudicando o desempenho do cenário;
2. O CD no Espírito Santo prejudica o fornecedor, pois não gera débitos suficientes para cobrir seus créditos;
3. Nos casos em que o débito é maior que o crédito, as diferentes alíquotas e escolhas de localizações do CD, não alteram o resultado financeiro final dos elos;

4. Alterando o *markup* do CD pode ser possível eliminar os prejuízos destacados na conclusão 1.

Para testar a quarta conclusão, utilizou-se a função “atingir meta” da planilha Excel e chegou-se aos valores de 7,17% de *markup* do CD para a loja e 86,6% na loja. Como está sendo considerado que tanto o CD quanto a loja são de um mesmo proprietário, não haveria problemas, porém o caso deve ser melhor investigado em termos legais. Por não se tratar do foco deste trabalho, não se aprofundou este tema. Desta forma, o produto é vendido ao mesmo preço final aos clientes da loja, independente da UF, como pode ser visto na Figura 8 a seguir.

ETAPAS DO FLUXO				RESUMO POR ELO			
	Cen1	Cen2	Cen3		Cen1	Cen2	Cen3
	SP-SP-MG	SP-ES-MG	SP-MG-MG		SP-SP-MG	SP-ES-MG	SP-MG-MG
1 - Compra MP pelo Fornecedor				Fornecedor			
Alíquota	18%	18%	18%	Fluxos Positivos			
				Crédito compra MP	21,95	21,95	21,95
Valor Produto	100	100	100	Recebimento pela venda	243,90	215,05	240,96
Valor NF	121,95	121,95	121,95	Fluxos Negativos			
Débito Fábrica	-21,95	-21,95	-21,95	Débito pela venda	-43,90	-15,05	-40,96
Crédito Fornecedor	21,95	21,95	21,95	Pagamento MP	121,95	121,95	121,95
				Balanco ICMS	-21,95	6,90	-19,01
				Resultado final	100,00	93,10	100,00
2 - Compra do material - Transferência para o CD				CD			
Alíquota	18%	7%	17%	Fluxos Positivos			
Markup Fornecedor	100%	100%	100%	Crédito pela transferência	43,90	15,05	40,96
Valor Produto	200	200	200	Recebimento pela transferência	258,25	227,27	243,90
Valor NF	243,90	215,05	240,96	Fluxos Negativos			
Débito Fornecedor	-43,90	-15,05	-40,96	Débito pela transferência	-43,90	-27,27	-43,90
Crédito CD	43,90	15,05	40,96	Pagamento do produto	243,90	215,05	240,96
				Balanco ICMS	0,00	-12,22	-2,94
				Resultado final	14,35	0,00	0,00
3 - Transferência do CD para a loja				Loja			
Alíquota	17%	12%	18%	Fluxos Positivos			
Markup Transferência	7%	0%	0%	Crédito pela transferência	43,90	27,27	43,90
Valor Produto	214,3472023	200	200	Recebimento pela transferência	487,80	487,80	487,80
Valor NF	258,25	227,27	243,90	Fluxos Negativos			
Débito CD	-43,90	-27,27	-43,90	Débito pela transferência	-87,80	-87,80	-87,80
Crédito Loja	43,90	27,27	43,90	Pagamento do produto	258,25	227,27	243,90
				Balanco ICMS	-43,90	-60,53	-43,90
				Resultado final	185,65	200,00	200,00
4 - Venda pela loja ao consumidor final				Resultado final CD e Loja			
Alíquota	18%	18%	18%	MG	MG	MG	
Markup	87%	100%	100%	Resultado final CD e Loja	200,00	200,00	200,00
Valor Produto	400	400	400	Resultado Final da Cadeia	300,00	293,10	300,00
Valor NF	487,80	487,80	487,80				
Débito Loja	-87,80	-87,80	-87,80				

Figura 8 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações (*Markup* no CD-SP)

Fonte: Autoria própria

O resultado final do CD-SP é diferente dos outros CDs, mas o resultado da loja no cenário 1 é menor que nos demais, complementando o alto desempenho do CD-SP. Desse modo, todos os cenários são iguais, considerando apenas CDs e lojas. A cadeia como um todo está prejudicada no cenário 2, pois o fornecedor está como credor. As diferenças entre os cenários foram destacadas em vermelho na Figura 8 acima.

O próximo caso a ser analisado é quando existe algum tipo de incentivo fiscal, ou seja, quando se considera o crédito presumido no fluxo de entrada e no fluxo de saída. O crédito presumido aumenta a alíquota de entrada para o estabelecimento de destino (assim este fica com maior crédito) e abate a alíquota de saída para o estabelecimento de origem (assim este fica com menor débito).

Seguindo os exemplos anteriores, suporemos que o estado do ES oferece um crédito presumido de 2% nas entradas e saídas do centro de distribuição. Foi criado, então, um 4º cenário que considera este benefício. Para efeitos comparativos, manteve-se a tabela original da Figura 7 (que não considera o *markup* no CD-SP) e criou-se uma nova coluna (SP-ES*-MG) para identificar o novo cenário com benefícios, conforme pode ser visto na Figura 9, a seguir.

ETAPAS DO FLUXO					RESUMO POR ELO				
	Cen1 SP-SP-MG	Cen2 SP-ES-MG	Cen3 SP-MG-MG	Cen4 SP-ES*-MG		Cen1 SP-SP-MG	Cen2 SP-ES-MG	Cen3 SP-MG-MG	Cen4 SP-ES*-MG
1 - Compra MP pelo Fornecedor					Fornecedor				
Alíquota	18%	18%	18%	18%	Fluxos Positivos				
Valor Produto	100	100	100	100	Crédito compra MP	21,95	21,95	21,95	21,95
Valor NF	121,95	121,95	121,95	121,95	Recebimento pela venda	243,90	215,05	240,96	215,05
Débito Fábrica	-21,95	-21,95	-21,95	-21,95	Fluxos Negativos				
Crédito Fornecedor	21,95	21,95	21,95	21,95	Débito pela venda	-43,90	-15,05	-40,96	-15,05
					Pagamento MP	121,95	121,95	121,95	121,95
					Balanco ICMS	-21,95	6,90	-19,01	6,90
					Resultado final	100,00	93,10	100,00	93,10
2 - Compra do material - Transferência para o CD					CD				
Alíquota	18%	7%	17%	7%	Fluxos Positivos				
Markup Fornecedor	100%	100%	100%	100%	Crédito pela transferência	43,90	15,05	40,96	19,78
Valor Produto	200	200	200	200	Recebimento pela transferência	240,96	227,27	243,90	227,27
Valor NF	243,90	215,05	240,96	215,05	Fluxos Negativos				
Débito Fornecedor	-43,90	-15,05	-40,96	-15,05	Débito pela transferência	-40,96	-27,27	-43,90	-22,22
Crédito CD	43,90	15,05	40,96	19,78	Pagamento do produto	243,90	215,05	240,96	215,05
					Balanco ICMS	2,94	-12,22	-2,94	-2,44
					Resultado final	-2,94	0,00	0,00	9,78
						SP	ES	MG	MG
3 - Transferência do CD para a loja					Loja				
Alíquota	17%	12%	18%	12%	Fluxos Positivos				
Markup Transferência	0%	0%	0%	10%	Crédito pela transferência	40,96	27,27	43,90	27,27
Valor Produto	200	200	200	200	Recebimento pela transferência	487,80	487,80	487,80	487,80
Valor NF	240,96	227,27	243,90	227,27	Fluxos Negativos				
Débito CD	-40,96	-27,27	-43,90	-22,22	Débito pela transferência	-87,80	-87,80	-87,80	-87,80
Crédito Loja	40,96	27,27	43,90	27,27	Pagamento do produto	240,96	227,27	243,90	227,27
					Balanco ICMS	-46,84	-60,53	-43,90	-60,53
					Resultado final	200,00	200,00	200,00	200,00
						MG	MG	MG	MG
4 - Venda pela loja ao consumidor final					Resultado final CD e Loja				
Alíquota	18%	18%	18%	18%		197,06	200,00	200,00	209,78
Markup	100%	100%	100%	100%	Resultado Final da Cadeia	297,06	293,10	300,00	302,88
Valor Produto	400	400	400	400					
Valor NF	487,80	487,80	487,80	487,80	Balanco ICMS				
Débito Loja	-87,80	-87,80	-87,80	-87,80	SP	2,94			
					ES		-12,22		-2,44
					MG	-46,84	-60,53	-46,84	-60,53

Figura 9 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações (Benefício ES)

Fonte: Autoria própria

Com relação ao fornecedor, percebe-se que este ainda está em uma situação ruim, pois continua comprando a uma alíquota de 18% e vendendo a uma alíquota de 7%. Sendo que seu *markup* não está permitindo gerar mais débitos, e por isso fica com créditos acumulados (considerados como custos).

Ao comparar os resultados finais dos cenários 2 e 3 verifica-se que foi possível gerar maior valor no cenário com benefício, incentivado pelo governo do ES. A operação do CD-ES, que antes não gerava nenhum valor, agora consegue gerar R\$ 9,78 por não pagar parte dos impostos nas transferências e por ganhar créditos na importação de outros estados.

Este novo cenário permite mais uma análise, pois foi gerado valor para o CD e para a loja, porém o fornecedor continua prejudicado. Foi criado um novo cenário no qual se aumentou a margem do fornecedor no cenário 4 até o resultado final deste elo ser idêntico ao resultado nos cenários 1 e 3 (R\$ 100,00), considerando-se um *markup* de 106,4%. E com raciocínio análogo, reduziu-se a margem da loja, para esta vender seu produto ao consumidor final ao mesmo preço dos demais cenários, resultando em um novo *markup* de 93,8%, conforme pode ser visto na Figura 10, a seguir.

ETAPAS DO FLUXO					RESUMO POR ELO				
	Cen1	Cen2	Cen3	Cen4		Cen1	Cen2	Cen3	Cen4
	SP-SP-MG	SP-ES-MG	SP-MG-MG	SP-ES*-MG		SP-SP-MG	SP-ES-MG	SP-MG-MG	SP-ES*-MG
1 - Compra MP pelo Fornecedor					Fornecedor				
Alíquota	18%	18%	18%	18%	Fluxos Positivos				
Valor Produto	100	100	100	100	Crédito compra MP	21,95	21,95	21,95	21,95
Valor NF	121,95	121,95	121,95	121,95	Recebimento pela venda	243,90	215,05	240,96	221,95
Débito Fábrica	-21,95	-21,95	-21,95	-21,95	Fluxos Negativos				
Crédito Fornecedor	21,95	21,95	21,95	21,95	Débito pela venda	-43,90	-15,05	-40,96	-15,54
					Pagamento MP	121,95	121,95	121,95	121,95
					Balanco ICMS	-21,95	6,90	-19,01	6,41
					Resultado final	100,00	93,10	100,00	100,00
2 - Compra do material - Transferência para o CD					CD				
Alíquota	18%	7%	17%	7%	Fluxos Positivos				
Markup Fornecedor	100%	100%	100%	106%	Crédito pela transferência	43,90	15,05	40,96	20,41
Valor Produto	200	200	200	206,41	Recebimento pela transferência	240,96	227,27	243,90	234,56
Valor NF	243,90	215,05	240,96	221,95	Fluxos Negativos				
Débito Fornecedor	-43,90	-15,05	-40,96	-15,54	Débito pela transferência	-40,96	-27,27	-43,90	-22,93
Crédito CD	43,90	15,05	40,96	20,41	Pagamento do produto	243,90	215,05	240,96	221,95
					Balanco ICMS	2,94	-12,22	-2,94	-2,52
					Resultado final	-2,94	0,00	0,00	10,09
						SP	ES	MG	MG
3 - Transferência do CD para a loja					Loja				
Alíquota	17%	12%	18%	12%	Fluxos Positivos				
Markup Transferência	0%	0%	0%	10%	Crédito pela transferência	40,96	27,27	43,90	28,15
Valor Produto	200	200	200	206,41	Recebimento pela transferência	487,80	487,80	487,80	487,80
Valor NF	240,96	227,27	243,90	234,56	Fluxos Negativos				
Débito CD	-40,96	-27,27	-43,90	-22,93	Débito pela transferência	-87,80	-87,80	-87,80	-87,80
Crédito Loja	40,96	27,27	43,90	28,15	Pagamento do produto	240,96	227,27	243,90	234,56
					Balanco ICMS	-46,84	-60,53	-43,90	-59,66
					Resultado final	200,00	200,00	200,00	193,59
						MG	MG	MG	MG
4 - Venda pela loja ao consumidor final					Resultado final				
Alíquota	18%	18%	18%	18%		197,06	200,00	200,00	203,68
Markup	100%	100%	100%	94%	Balanco ICMS				
Valor Produto	400	400	400	400	SP	2,94			
Valor NF	487,80	487,80	487,80	487,80	ES		-12,22		-2,52
Débito Loja	-87,80	-87,80	-87,80	-87,80	MG	-46,84	-60,53	-46,84	-59,66

Figura 10 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações
(Benefício ES e novos *markups*)

Fonte: Autoria própria

Neste último caso, verifica-se que mesmo com um preço de compra do produto maior (de R\$ 200 para R\$206,41) e uma redução na margem final da cadeia de 6,2%, o cenário ainda é mais eficiente que o caso sem benefícios fiscais, gerando um resultado final cerca de 1,8% maior.

Por último, gerou-se um cenário idêntico ao cenário 4, porém, em vez de comprar do fornecedor por um preço maior, estudou-se a alteração do fornecedor para uma localidade na qual ele não fique desfavorecido com relação ao crédito acumulado. O estado escolhido foi a Bahia, onde a alíquota para o ES é de 12%, e os resultados podem ser vistos na Figura 11, a seguir.

ETAPAS DO FLUXO					RESUMO POR ELO				
	Cen1 SP-SP-MG	Cen2 SP-ES-MG	Cen3 SP-MG-MG	Cen4 SP-ES*-MG		Cen1 SP-SP-MG	Cen2 SP-ES-MG	Cen3 SP-MG-MG	Cen4 SP-ES*-MG
1 - Compra MP pelo Fornecedor					Fornecedor				
Alíquota	18%	18%	18%	18%	Fluxos Positivos				
					Crédito compra MP	21,95	21,95	21,95	21,95
Valor Produto	100	100	100	100	Recebimento pela venda	243,90	215,05	240,96	227,27
Valor NF	121,95	121,95	121,95	121,95	Fluxos Negativos				
Débito Fábrica	-21,95	-21,95	-21,95	-21,95	Débito pela venda	-43,90	-15,05	-40,96	-27,27
Crédito Fornecedor	21,95	21,95	21,95	21,95	Pagamento MP	121,95	121,95	121,95	121,95
					Balanco ICMS	-21,95	6,90	-19,01	-5,32
					Resultado final	100,00	93,10	100,00	100,00
2 - Compra do material - Transferência para o CD					CD				
Alíquota	18%	7%	17%	12%	Fluxos Positivos				
Markup Fornecedor	100%	100%	100%	100%	Crédito pela transferência	43,90	15,05	40,96	32,56
Valor Produto	200	200	200	200	Recebimento pela transferência	240,96	227,27	243,90	227,27
Valor NF	243,90	215,05	240,96	227,27	Fluxos Negativos				
Débito Fornecedor	-43,90	-15,05	-40,96	-27,27	Débito pela transferência	-40,96	-27,27	-43,90	-22,22
Crédito CD	43,90	15,05	40,96	32,56	Pagamento do produto	243,90	215,05	240,96	227,27
					Balanco ICMS	2,94	-12,22	-2,94	10,34
					Resultado final	-2,94	0,00	0,00	0,00
3 - Transferência do CD para a loja					Loja				
Alíquota	17%	12%	18%	12%	Fluxos Positivos				
Markup Transferência	0%	0%	0%	0%	Crédito pela transferência	40,96	27,27	43,90	27,27
Valor Produto	200	200	200	200	Recebimento pela transferência	487,80	487,80	487,80	487,80
Valor NF	240,96	227,27	243,90	227,27	Fluxos Negativos				
Débito CD	-40,96	-27,27	-43,90	-22,22	Débito pela transferência	-87,80	-87,80	-87,80	-87,80
Crédito Loja	40,96	27,27	43,90	27,27	Pagamento do produto	240,96	227,27	243,90	227,27
					Balanco ICMS	-46,84	-60,53	-43,90	-60,53
					Resultado final	200,00	200,00	200,00	200,00
4 - Venda pela loja ao consumidor final					Resultado final CD e Loja				
Alíquota	18%	18%	18%	18%	MG	MG	MG	MG	
Markup	100%	100%	100%	100%	Resultado final CD e Loja	197,06	200,00	200,00	200,00
Valor Produto	400	400	400	400	Resultado Final da Cadeia	297,06	293,10	300,00	300,00
Valor NF	487,80	487,80	487,80	487,80					
Débito Loja	-87,80	-87,80	-87,80	-87,80	Balanco ICMS				
					SP	2,94			
					ES		-12,22		10,34
					MG	-46,84	-60,53	-46,84	-60,53

Figura 11 – Etapas dos Fluxos e Resumo das Operações
(Benefício ES e fornecedor na BA)

Fonte: Autoria própria

Com a alteração da alíquota de entrada do produto no CD, este ficou em desvantagem, pois fica credor ao final da cadeia e seu resultado final fica zerado (apesar de ter crédito, este foi devido ao benefício, por isso não afeta o resultado final).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muito já foi estudado sobre o *facility location problem* (FLP) ou modelos de localização. As formulações iniciais do problema consistiam em achar localidades que minimizassem o custo de transporte e custo da mão de obra local. É possível encontrar uma revisão detalhada da literatura desta natureza de problemas em BRANDEAU e CHIU (1989, apud YOSHIZAKI, 2002) ou MARTOS (2000, apud YOSHIZAKI, 2002).

Na grande maioria dos casos reais, o problema consiste em localizar mais de uma instalação em um cenário onde já existem armazéns construídos em determinados locais. Segundo BALLOU (2006), existem alguns métodos principais para resolver o problema:

- Métodos exatos:
 - Abordagem de múltiplo centro de gravidade: utiliza-se o centro de gravidade de demanda para localizar n instalações, minimizando a distância em linha reta percorrida;
 - Programação linear inteira mista: trás grandes benefícios, dado sua capacidade de lidar com custos fixos de maneira ótima.
- Métodos de simulação: priorizam uma modelagem mais detalhada da realidade e abrem mão da definição do cenário ótimo.
- Métodos heurísticos: buscam baixos tempos computacionais e soluções boas, em detrimento, muitas vezes, de soluções ótimas.

Conforme GEOFFRION e POWERS (1995), no caso da programação linear inteira mista, um modelo eficientemente utilizado na modelagem de problemas de rede é a formulação proposta por GEOFFRION e GRAVES (1974) para problemas do tipo multi-produtos.

Com relação ao tema otimização de redes logísticas considerando a incidência do ICMS, este assunto foi primeiramente abordado por YOSHIZAKI (2002). Utilizando programação linear inteira mista, o autor estudou oportunidades de ganhos tributários no

caso de estabelecimentos que realizam sonegação fiscal e com diferentes tamanhos de CDs. Sua formulação matemática foi baseada no modelo de Geoffrion e Graves, relaxando as restrições de atendimento de um cliente por apenas um CD e a variável binária y . Segundo o autor, pode ser conveniente abastecer um mesmo mercado por CDs diferentes dependendo do uso que este cliente faz dos créditos de ICMS. Com isso pode-se tratar os fluxos fábrica-CD independente dos fluxos CD-cliente.

Ainda segundo YOSHIZAKI (2002), pode-se relaxar também a restrição de volume mínimo para a utilização de um CD. Na formulação original do problema esta restrição devia-se à exigência de um mínimo de oito vagões para o transporte, pois o modal em questão era o ferroviário. Tratando-se de redes logísticas brasileiras, onde o modal predominante é o rodoviário, esta restrição foi relaxada.

PANTALENA (2004) estudou um caso do *trade-off* logística x ICMS para a indústria química considerando o ICMS como um custo absorvido pela indústria e, portanto capaz de gerar situações de crédito morto em determinados estados. Apenas em São Paulo é liberada a geração deste crédito, pois no caso estudado o crédito poderia ser negociado então não deveria ser tratado como prejuízo à empresa.

Em sua modelagem, PANTALENA (2004) adicionou uma parcela de custo de ICMS correspondente ao saldo (crédito - débito) a ser pago pela indústria, além de restrições garantindo que em cada estado o valor final do débito seja maior que o do crédito e assim não gerando o crédito morto (com exceção de São Paulo).

SILVA (2007) realiza uma generalização do caso de PANTALENA (2004) modelando uma rede genérica considerando a incidência do ICMS, benefícios fiscais de crédito presumido, economias de escala na operação dos armazéns e restringindo a formação de crédito morto.

O modelo proposto por SILVA (2007) é apresentado a seguir:

Índices

i Fábrica

j	CDs
k	Mercados
p	Produtos
n	Nível de capacidade nos CDs

Parâmetros

Dem_{pk}	Demanda do produto p no mercado k (t/ano)
$CapFab_{ip}$	Capacidade da fábrica i para produzir o produto p (t/ano)
$CapCD_{jn}$	Capacidade do CD j no nível de capacidade n (t/ano)
$CTrns_{ij}$	Custo do frete de transferência da fábrica i para o CD j (R\$/t)
$CDstr_{jk}$	Custo do frete de distribuição do CD j para o mercado k (R\$/t)
$FixCD_{jn}$	Custo fixo do CD j com capacidade n (R\$/ano)
$CvCD_j$	Custo variável de transbordo no CD j (R\$/t)
CvF_i	Custo variável de transbordo na fábrica i (R\$/t)
$AlíqICMS_{ij}$	Alíquota de ICMS correspondente ao arco com origem na fábrica i e destino no CD j
$AlíqICMS_{jk}$	Alíquota de ICMS correspondente ao arco com origem no CD j e destino no mercado k
$AlíqBef_j$	Percentual relativo ao crédito presumido fornecido pelo benefício, no CD j
PT_p	Custo de produção do produto p sem o ICMS, ou seja, o valor utilizado na NF de transferência do produto, sobre o qual incide o ICMS (R\$/t)
PV_p	Preço de venda do produto p sem o ICMS, ou seja, custo de produção + margem, sobre o qual incide o ICMS (R\$/t)
F_{MIN}	Constante referente ao fluxo mínimo de operação dos CDs (%)

Variáveis

$Trns_{ijp}$	Quantidade do produto p transferida da fábrica i para o CD j (t/ano)
$DstrD_{jkp}$	Quantidade do produto p distribuída do CD j para o mercado k (t/ano)
BF_j	Ganho auferido com o benefício fiscal com a distribuição a partir do CD j (R\$/ano)

Z_{jn}	Variável binária: assume valor 1 caso o CD j com capacidade n esteja aberto e 0 em caso contrário
CT	Custo total da operação (R\$/ano)

Função Objetivo

Minimizar

$$\begin{aligned}
& \sum_{ijp} (CTrns_{ij} \cdot Trns_{ijp}) && \text{(Custo do frete de transferência i-j)} \\
& + \sum_{jkp} (CDstr_{jk} \cdot DstrD_{jkp}) && \text{(Custo do frete de distribuição j-k)} \\
& + \sum_{jn} (FixCD_{jn} \cdot Z_{jn}) && \text{(Custo fixo anual do CD j)} \\
& + \sum_{jkp} (CvCD_j \cdot DstrD_{jkp}) && \text{(Custo de transbordo no CD j)} \\
& + \sum_{ikp} (CvFi \cdot Trns_{ijp}) && \text{(Custo de transbordo na fábrica i)} \\
& - \sum_j BF_j && \text{(Ganho fiscal a partir do CD j)}
\end{aligned}$$

Restrições

Atendimento da demanda

$$\sum_j DstrD_{jkp} = Dem_{pk}, \forall kp$$

Capacidade de operação do CD j

$$\sum_{ip} Trns_{ijp} \leq \sum_n (Z_{jn} \cdot CapCD_{jn}), \forall j$$

Única capacidade de operação no CD j

$$\sum_n Z_{jn} \leq 1, \forall j$$

Fluxo mínimo no CD j com capacidade n

$$\sum_{ip} Trns_{ijp} \geq \sum_n (Z_{jn} \cdot F_{MIN} \cdot CapCD_{jn}), \forall jn$$

Balço de massa no CD j

$$\sum_i Trns_{ijp} = \sum_k DstrD_{jkp}, \forall j, p$$

Saldo de ICMS nulo ou positivo no CD j

$$DstrD_{jkp} \cdot \sum_j \left\{ \left[\left[\frac{PT_p}{(1 - AlíqICMS_{ij})} - PT_p \right] - \left[\frac{PV_p}{(1 - AlíqICMS_{jk})} - PV_p \right] \right\} - BF_j \right\} \\ \geq 0, \forall j$$

Onde BF é calculado como:

$$BF_j = \sum_p \left\{ \left[\frac{PV_p}{(1 - AlíqBef_j)} - PV_p \right] \right\}$$

Binárias

$$Z_{jn}, \forall j, n \begin{cases} = 1, \text{ se o CD}_j \text{ com capacidade } n \text{ está operando} \\ = 0, \text{ em caso contrário} \end{cases}$$

Não negatividade

$$Trns_{ijp} \geq 0, \forall i, j, p$$

$$DstrD_{jkp} \geq 0, \forall j, k, p$$

$$BF_j \geq 0, \forall j$$

A restrição de saldo nulo ou zero nos CDs proposta por SILVA (2007) é uma maneira de garantir a não geração de crédito morto uma vez que esta quantia não pode ser reavista como valor monetário. Porém limitando esta geração, se está limitando também possíveis configurações de malhas que, logicamente, poderiam ser interessantes.

Ainda na mesma linha, JUNQUEIRA e MORABITO (2006, apud QUEIROZ, 2011) estudaram o efeito do imposto no planejamento da produção e distribuição de sementes de milho, utilizando uma abordagem simplificada do modelo de YOSHIZAKI (2002), considerando dois elos de beneficiamento entre os campos de colheita (fornecedores) e o mercado consumidor.

QUEIROZ (2011) realiza um estudo do efeito do ICMS no planejamento de redes logísticas, analisando as diferentes políticas de estoque e modelos de localização que consideram, ou não, o custo do imposto. O modelo proposto pelo autor visa responder, dentre outros, a quantidade de armazéns abertos, suas localidades, alocação de cada mercado a cada armazém, proporção do custo tributário em relação ao da operação e o impacto das diferentes políticas de estoque no custo total da rede.

NAZÁRIO (2002) descreve, a partir de dois estudos de caso, o impacto do ICMS na localização de empresas. O primeiro caso estudado foi o de uma empresa distribuidora de aço, onde foram analisados os impactos fiscais provenientes de benefícios tributários. O segundo caso estudado foi o de uma empresa de telecomunicações, e foi enfatizado o balanço de ICMS nos estados de atuação.

4. MODELAGEM DO PROBLEMA

4.1. Premissas da Formulação

Com o intuito de modelar o problema de rede logística considerando ICMS, benefícios fiscais e permitindo situações em que é gerado crédito morto nos CDs, uma nova formulação para o problema, baseada em SILVA (2007), é proposta. As seguintes premissas foram adotadas para a modelagem da rede logística:

- Os elos da malha são: fornecedor, centro de distribuição e cliente;
- Todos os fluxos devem necessariamente passar por um CD, não sendo permitida a entrega diretamente do fornecedor em um cliente;
- Cada cliente pode ser abastecido por diferentes CDs;
- São considerados diversos tipos de produtos, com preços de compra e venda diferentes;
- Considera-se que cada fornecedor possui uma capacidade produtiva limitada;
- Considera-se apenas um período de tempo;
- Considera-se o modal de transporte rodoviário, típico destas operações no Brasil;
- Os custos de transporte são diferenciados entre os elos fornecedor-CD (transferência) e CD-Cliente (distribuição), sendo o segundo normalmente mais consolidado e de menor valor unitário;
- Não são restringidas situações em que seja gerado crédito morto devido à diferença de alíquotas de ICMS, permitindo assim que situações desta natureza possam ocorrer, caso seja logisticamente viável;
- É realizada a minimização do custo total da operação, envolvendo transporte, armazenagem e tributação de ICMS e benefícios fiscais de crédito presumido na saída de materiais dos CDs.

4.2. Formulação Matemática

A seguir a formulação proposta nessa dissertação com o intuito de modelar o problema de rede logística considerando ICMS, benefícios fiscais e permitindo situações em que é gerado crédito morto nos CDs.

Índices

i	Fábrica
j	CDs
c	Clientes
p	Produtos

Parâmetros

Dem_{pc}	Demanda do produto p no cliente c (t/ano)
$CapFab_{ip}$	Capacidade da fábrica i para produzir o produto p (t/ano)
$CapCD_j$	Capacidade do CD j (t/ano)
$CTrns_{ij}$	Custo do frete de transferência da fábrica i para o CD j (R\$/t)
$CDstr_{jc}$	Custo do frete de distribuição do CD j para o cliente c (R\$/t)
$FixCD_j$	Custo fixo do CD j (R\$/ano)
$CvCD_j$	Custo variável de transbordo no CD j (R\$/t)
$AliqICMS_{IJ_{ij}}$	Alíquota de ICMS correspondente ao arco com origem na fábrica i e destino no CD j
$AliqICMS_{JC_{jc}}$	Alíquota de ICMS correspondente ao arco com origem no CD j e destino no cliente c
$AliqBef_j$	Percentual relativo ao crédito presumido fornecido pelo benefício, no CD j
PC_p	Custo de produção do produto p sem o ICMS, ou seja, o valor utilizado na NF de transferência do produto, sobre o qual incide o ICMS (R\$/t)
PV_p	Preço de venda do produto p sem o ICMS, ou seja, custo de produção + margem, sobre o qual incide o ICMS (R\$/t)
$Saldo_{ijcp}$	Saldo no CD j dos fluxos do produto p vindos de i, com destino c
$SaldoFinal_{ijcp}$	Mínimo entre $Saldo_{ijcp}$ e zero

Variáveis

$fluxo_{ijcp}$	Variável de decisão: Quantidade do produto p transferida da fábrica i para o CD j e posteriormente para o cliente c (t/ano)
z_j	Variável de decisão binária: assume valor um caso o CD j esteja aberto e zero em caso contrário

Função Objetivo

Minimizar

$$\begin{aligned} & \sum_{ijcp} (CTrns_{ij} \cdot fluxo_{ijcp}) && \text{(Custo do frete de transferência i-j)} \\ & + \sum_{ijcp} (CDstr_{jc} \cdot fluxo_{ijcp}) && \text{(Custo do frete de distribuição j-c)} \\ & + \sum_j (FixCD_j \cdot z_j) && \text{(Custo fixo anual do CD j)} \\ & + \sum_{ijcp} (CvCD_j \cdot fluxo_{ijcp}) && \text{(Custo de transbordo no CD j)} \\ & - \sum_{ijcp} (Margem_{ijcp} \cdot fluxo_{ijcp}) && \text{(Margem da operação de venda do produto)} \\ & - \sum_{ijcp} (BenFiscal_{jp} \cdot fluxo_{ijcp}) && \text{(Ganho fiscal a partir do CD j)} \end{aligned}$$

Onde

$$Margem_{ijcp} = \left[\frac{PV_p}{(1 - AlíqICMS_{jc})} \right] - \left[\frac{PC_p}{(1 - AlíqICMS_{ij})} \right] + SaldoFinal_{ijcp}$$

$SaldoFinal_{ijcp}$

$$\begin{aligned} & = \text{Mínimo} \left\{ \left[\frac{PC_p}{(1 - AlíqICMS_{ij})} - PC_p \right] - \left[\frac{PV_p}{(1 - AlíqICMS_{jc})} - PV_p \right] \right. \\ & \left. + \left[\frac{PV_p}{(1 - AlíqBef_j)} - PV_p \right]; 0 \right\} \end{aligned}$$

$$BenFiscal_{jp} = \frac{PV_p}{(1 - AlíqBef_j)} - PV_p$$

Restrições

Atendimento da demanda

$$\sum_{ij} fluxo_{ijcp} = Dem_{cp}, \forall cp$$

Capacidade de operação do CD j

$$\sum_{icp} \text{fluxo}_{ijcp} \leq z_j \cdot \text{CapCD}_j, \forall j$$

Capacidade de produção do fornecedor i

$$\sum_{jc} \text{fluxo}_{ijcp} \leq \text{CapFab}_{ip}, \forall ip$$

Binárias

$$z_j, \forall j: \begin{cases} = 1, \text{ se o CD}_j \text{ está operando} \\ = 0, \text{ em caso contrário} \end{cases}$$

Não negatividade

$$\text{fluxo}_{ijcp} \geq 0, \forall ijcp$$

4.3. Considerações da Formulação

A formulação proposta segue a linha inicial de SILVA (2007), porém algumas alterações foram necessárias para garantir a possibilidade de cenários com geração de crédito morto.

A primeira é o cálculo da margem de cada produto representado na função objetivo pela quinta parcela, com sinal negativo, pois vai ao sentido contrário da minimização de custos. Esta parcela é calculada subtraindo-se do preço de venda (incluindo ICMS) o preço de compra (também com ICMS) e somando-se o saldo desta operação.

Este saldo refere-se à diferença entre o débito de ICMS na operação de venda menos o crédito de ICMS na operação de compra. Caso este saldo seja negativo, ao ser somado com a diferença entre o preço de venda e de compra, todas as parcelas de ICMS serão canceladas, e a operação não será prejudicada nem beneficiada pelo imposto. No caso

de o saldo ser positivo, a empresa teria então um crédito, que é considerado como um valor que não será reavido, e, por isso, ganha a nomenclatura de “crédito morto”. Neste caso, a função mínimo (gerada durante o pré-processamento dos parâmetros) garante que o saldo será nulo, e, com isso, esta operação ficará em desvantagem, pois este crédito será considerado como um custo. Esta parcela é uma das principais contribuições trazidas por este estudo visto que não será tratada por uma restrição que a impede de ser gerada e sim pela sua modelagem completa.

A Figura 12, a seguir, foi desenvolvida para melhor exemplificar a lógica do crédito morto.

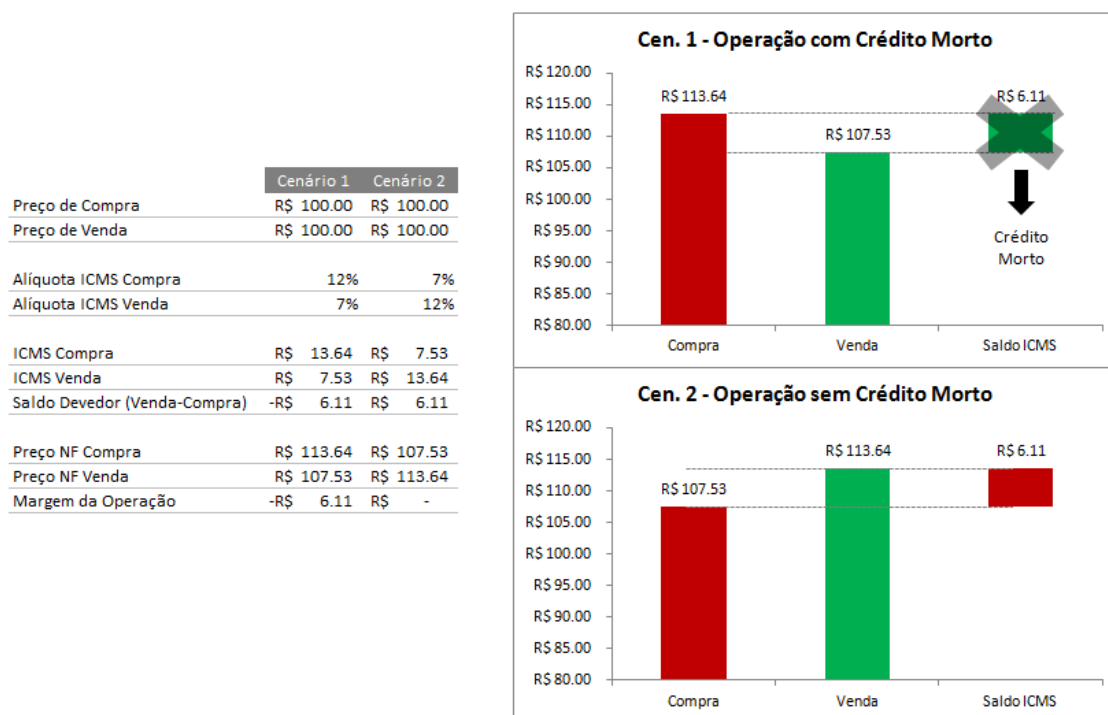


Figura 12 – Margem final de operações com e sem geração de crédito morto

Fonte: Autoria própria

Em ambos os casos um produto de R\$ 100,00 é comprado pelo CD e transferido a este mesmo preço para um cliente. No primeiro cenário, a alíquota de compra é de 12% e a de transferência é de 7%, gerando um saldo devedor de –R\$6,11 (ou seja, um crédito de R\$6,11). Esta operação deveria ter uma margem nula, pois o produto é comprado e transferido ao mesmo preço. Porém, como o valor da nota fiscal da compra é maior que

o da venda, gera-se este crédito dito “morto”, pois a entidade não será reembolsada deste valor pela União, ficando a operação com uma margem negativa.

O segundo cenário, mais comum (pois no geral a operação de venda tem valor maior que o da compra devido ao *markup* adicionado pela indústria), gera um débito para a entidade, que deverá pagá-lo à União. A operação resultante possui, desta maneira, margem nula.

É importante ressaltar que, dependendo do *markup* adicionado, mesmo o diferencial de alíquotas pode não gerar crédito morto, pois o valor de venda do produto agora é significativamente maior que o de compra, portanto o tributo a ser pago na saída do material deverá ser maior que o na compra.

A função mínimo, aplicada aqui como pré-processamento da formulação matemática, garante que um crédito gerado em um CD saia da conta, deixando a operação deficitária.

Outra consideração importante sobre a formulação é a necessidade de tratar os fluxos de materiais de maneira completa: (i, j, c, p) . Nas formulações deste tipo de problema usualmente divide-se os fluxos entre elos (fornecedor-CD e CD-cliente). Porém, foi necessário lançar mão deste artifício para viabilizar o cálculo da margem de cada produto, que varia de acordo com a origem e o destino da transação. Com isso não foi possível utilizar a modelagem clássica de problemas de rede onde cada etapa do fluxo de transporte é modelada em separado. Ao modelar o fluxo completo sabemos todo o caminho de cada material e, por isso, sabemos se é gerado crédito morto.

Porém, a modelagem do fluxo de maneira completa exige um maior esforço computacional, o que pode se tornar um impeditivo dependendo do tamanho da instância a ser processada. Nos casos testados neste trabalho o desempenho computacional não foi uma barreira devido às instâncias serem de tamanhos moderados. Em cenários com quantidades muito grandes de fornecedores e/ou clientes a modelagem proposta deve ser melhor avaliada antes de ser implementada.

O restante da formulação não contém mudanças significativas com relação ao exposto na revisão bibliográfica. As duas primeiras parcelas da função objetivo correspondem aos custos de transporte de transferência e distribuição, respectivamente. Os parâmetros destes custos apresentam-se em R\$/tonelada, e, ao serem multiplicados pela variável de fluxo, em toneladas, resultam em R\$.

A terceira e a quarta parcelas referem-se ao custo de armazenagem, sendo a primeira delas o custo fixo de abertura de uma instalação, e a segunda o custo variável por tonelada movimentada (entrada) no CD.

Não foi considerado o custo de movimentação no fornecedor, como era considerado em outros trabalhos. Optou-se por suprimir esta parcela, pois ela ocorrerá indiferentemente à escolha de fluxos e CDs.

As duas últimas parcelas representam os cálculos tributários conforme detalhado previamente neste capítulo.

Com relação às restrições, a primeira delas garante o atendimento das demandas dos clientes, igualando o somatório do fluxo de um determinado produto em cada cliente à demanda por este produto pelo cliente.

A restrição seguinte refere-se à capacidade de operação dos CDs. Esta restrição é o coração da modelagem de rede, sendo responsável pela abertura dos CDs. A inequação garante que, para existir um fluxo para um determinado CD, sua variável z binária deve assumir valor um, caso contrário todo o fluxo é zerado.

A próxima restrição é a de produção de cada fornecedor, garantindo que sua capacidade produtiva será respeitada.

Por último, aparecem a restrição de não negatividade dos fluxos e a restrição que restringem as variáveis z a binárias, encerrando a lista.

Um fato a ser ressaltado é que esta formulação do modelo de rede com os fluxos completos não exige a restrição de balanço de massa nos CDs, aquela que garante que “tudo que entra, sai”, pois, com esta formulação tem-se o controle do fluxo como um todo.

5. DESCRIÇÃO DO CASO ESTUDADO

Este capítulo tem como objetivo descrever o estudo de caso estudado.

Com o intuito de testar a modelagem proposta e verificar se a inclusão dos fatores tributários pode gerar desbalanceamento na rede logística, escolheu-se um problema de dimensões reais, baseado em valores verídicos da operação, como a localização dos fornecedores e clientes finais, mas os valores e as margens dos produtos foram alterados de modo a garantir o sigilo da operação.

O caso estudado é de uma empresa real de prestação de serviços técnicos, no ramo de infraestrutura de telecomunicações, com atuação nos estados do Norte, Nordeste e Sul. Foi fundada em 1993 e atualmente conta com mais de 17 mil colaboradores, possuindo um faturamento de mais de um bilhão de Reais.

A maneira atual como a companhia opera consiste na manutenção de um CD em cada estado, sendo que cada UF é atendida apenas por sua instalação. A cadeia logística é composta por três elos: fornecedores, centros de distribuição (CDs, pertencentes à empresa) e unidades de recebimento (UR), conforme mostra a Tabela 2, a seguir.

Os fornecedores estão distribuídos por todo o país, sendo que para determinadas famílias de produtos pode existir mais de um fornecedor.

Os CDs são grandes galpões, de propriedade da empresa, que estocam os produtos necessários para a operação nas URs. Estas instalações são as únicas que podem receber as mercadorias dos fornecedores, enviando então para as unidades de atendimento. Por se tratar de uma propriedade da mesma empresa final, os preços nos CDs não possuem *markup*.

Elo	Recebe de	Envia Para
Fornecedor	-	CD
Centro de Distribuição (CD)	Fornecedor	UR
Unidade de Recebimento (UR)	CD	-

Tabela 2 – Elos da Cadeia de Suprimentos Estudada

Fonte: Autoria própria

As unidades de recebimento são agregações de cidades dentro de cada estado, classificadas pela empresa estudada. Este é o último elo da cadeia, onde são realizados os serviços da empresa, sendo necessárias nove famílias distintas de produtos.

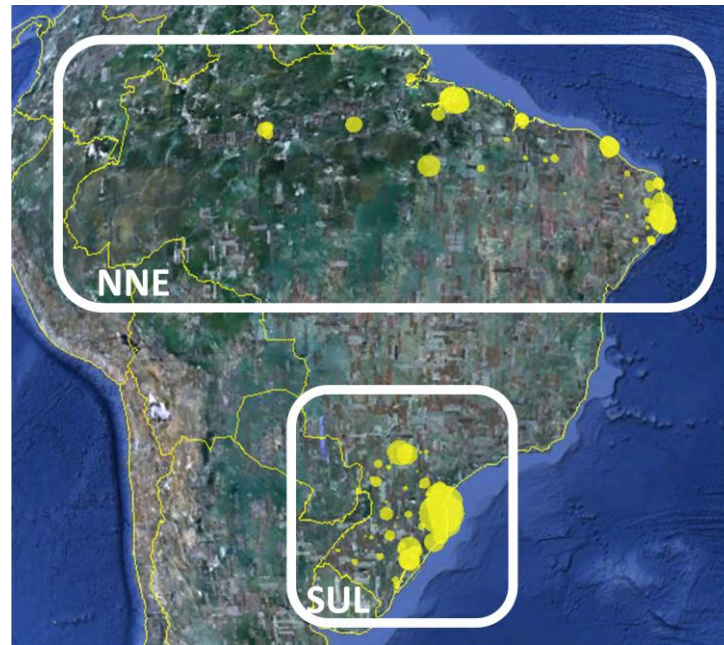


Figura 13 – Demanda Agregada por UR

Fonte: Autoria própria, mapa Google Earth

Para uma melhor visualização do cenário estudado, a Figura 13, acima, exibe a demanda em toneladas para cada UR. Percebe-se que nas regiões Norte e Nordeste (NNE) as demandas são muito concentradas nas capitais de cada estado, enquanto no Sul são mais equilibradas entre as capitais e o interior.

A Figura 14, a seguir, ilustra o resultado do mapeamento de fornecedores realizado, onde, para cada estado, localizou-se o centroide em termos de volume fornecido. Cada fornecedor é então considerado como uma localidade única em cada UF.



Figura 14 – Localização dos Centroides dos Fornecedores

Fonte: Autoria própria, mapa Google Earth

As localidades propostas como possíveis CDs a serem utilizados foi baseada no conhecimento da operação, que identifica possíveis regiões centrais de fluxo, e nos locais de maior concentração de suprimento e demanda.

O resultado foi uma lista das seguintes 55 cidades, representadas no mapa da Figura 15, a seguir: Maceió (AL), Manaus (AM), Macapá (AP), Salvador (BA), Juazeiro (BA), Jacobina (BA), Vitória da Conquista (BA), Itabuna (BA), Feira de Santana (BA), Fortaleza (CE), Juazeiro do Norte (CE), Iguatu (CE), Horizonte (CE), Russas (CE), Sobral (CE), São Luis (MA), Imperatriz (MA), Caxias (MA), Bacabal (MA), Belém (PA), Ananindeua (PA), Umarituba (PA), Marabá (PA), Santarém (PA), Castanhal (PA), João Pessoa (PB), Campina Grande (PB), Patos (PB), Cabedelo (PB), Olinda (PE), Petrolina (PE), Caruaru (PE), Recife (PE), Teresina (PI), Picos (PI), Floriano (PI), Parnaíba (PI), Natal (RN), Boa Vista (RR), Aracajú (SE), São Paulo (SP), Curitiba (PR), Maringá (PR), Cascavel (PR), Florianópolis (SC), Blumenau (SC), Itajaí (SC), Joinville (SC), Chapecó (SC), Criciúma (SC), Lages (SC), Porto alegre (RS), Caxias do Sul (RS), Pelotas (RS) e Santa Maria (RS).



Figura 15 – Possíveis Localidades para Abertura de CD

Fonte: Autoria própria, mapa Google Earth

O objetivo final do estudo é, então, o de encontrar a configuração de CDs que atenda a demanda e minimize os custos da operação logística, considerando também a questão fiscal, que pode rebalancear esta rede logística.

5.1. **Parâmetros do Modelo**

Os parâmetros do modelo foram calculados de acordo com os dados e volumes operacionais da empresa em questão, no ano de 2010. Não serão apresentadas aqui as etapas de cálculo destes valores, de modo a garantir um maior sigilo dos dados, porém os valores finais encontrados são detalhados a seguir.

Como mencionado anteriormente, os produtos demandados pelas URs foram classificados em famílias, totalizando nove grupos.

Os parâmetros de custos dos CDs foram divididos em fixos e variáveis. Para isso, foi realizada uma regressão com os custos de cada instalação e seus respectivos volumes

movimentados no ano. O resultado obtido foi: R\$ 235.620,00 de custo fixo e R\$ 0,022 R\$/ton de custo variável.

A capacidade das instalações não foi considerada como um valor restritivo, apenas existe como um valor suficientemente alto, de forma a garantir o funcionamento da restrição de abertura de um CD.

Com relação aos parâmetros de transporte, optou-se por utilizar a referência de valores de frete fracionado e lotação, divulgados pela NTC (Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística), respectivamente como frete transferência e distribuição. Foi realizado um ajuste linear nos dados da tabela, chegando às seguintes curvas exibidas na Figura 16 e na Figura 17, a seguir.

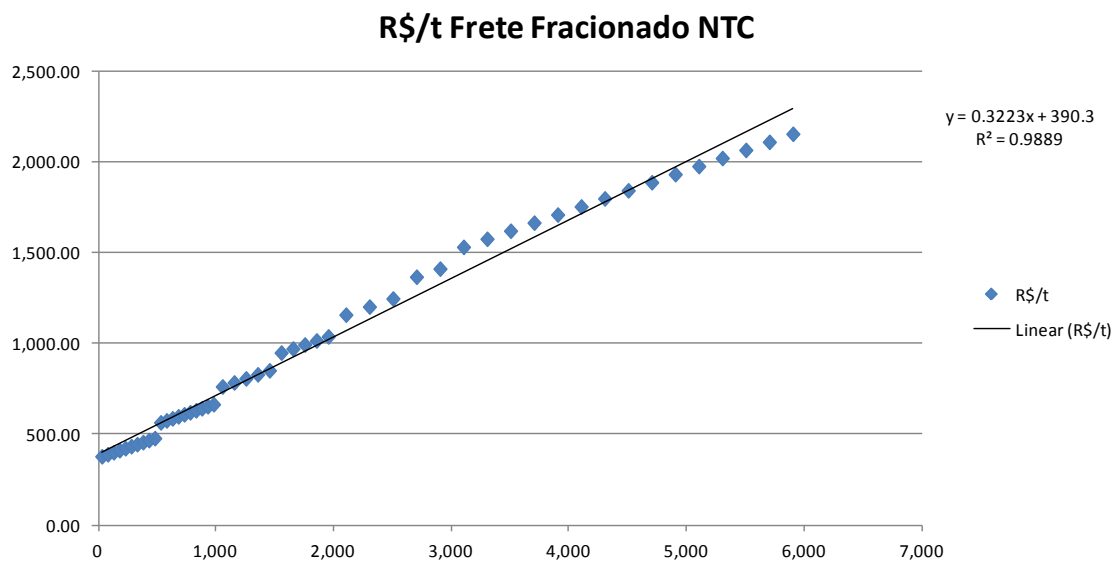


Figura 16 – Curva de Frete Fracionado (Transferência)

Fonte: NTC (2012)

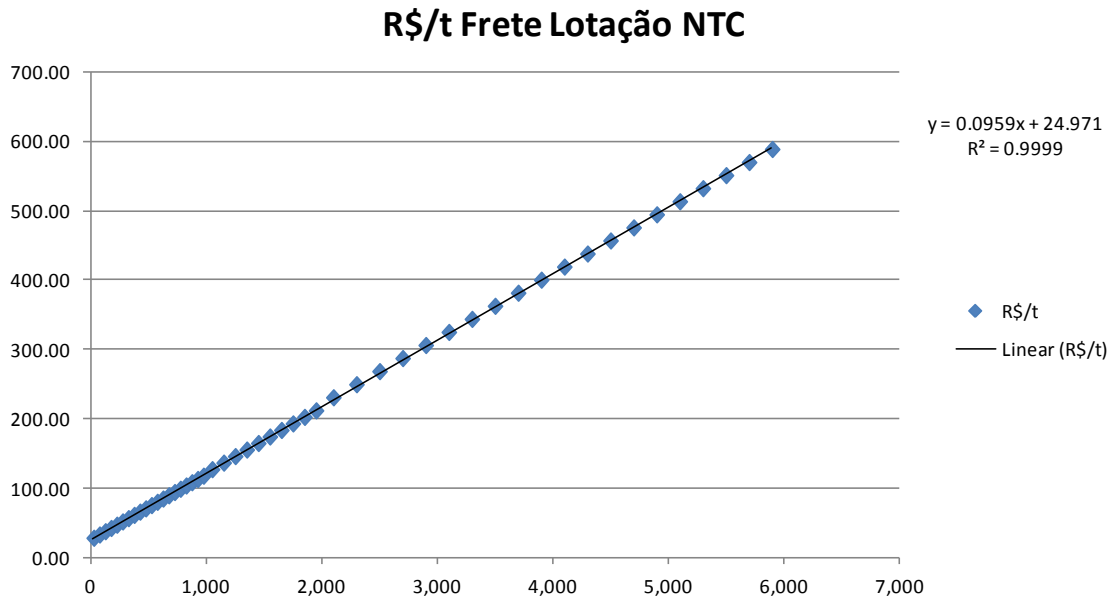


Figura 17 – Curva de Frete Lotação (Distribuição)

Fonte: NTC (2012)

Para as alíquotas de ICMS foi utilizada a tabela do Anexo I, e para os incentivos fiscais considerou-se um valor de 3% de crédito presumido nas saídas do estado de Pernambuco, baseando-se no programa PRODEPE (Programa de Desenvolvimento de Pernambuco, criado pelo Governo de Pernambuco visando desenvolver os setores industrial, comercial e tecnológico através de incentivos fiscais).

6. CENÁRIOS ESTUDADOS E RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo tem como objetivo testar os resultados da formulação proposta em diferentes cenários, avaliando sensibilidades e identificando quais fatores são relevantes na estruturação da rede logística.

6.1. Estrutura dos Cenários

Os cenários avaliados neste trabalho consistem em três instâncias base, cada uma podendo sofrer quatro variações de parâmetros.

As instâncias base são as seguintes:

- Caso base;
- Norte e Nordeste (NNE);
- Sul.

As quatro variações de parâmetros a que os cenários foram submetidos são:

- Sem aspectos fiscais (alíquotas de ICMS zeradas);
- Com aspectos fiscais;
- Com aspectos fiscais, restringindo a geração de crédito morto;
- Com aspectos fiscais e benefícios fiscais.

O caso base foi criado a partir do cenário NNE com o intuito de avaliar e melhor entender a dinâmica da formulação proposta. Esta instância, mais reduzida, possibilita visualizar mais facilmente as escolhas feitas pelo modelo, servindo como caso base para a validação da formulação e melhor entendimento dos fluxos de transporte.

Em seguida foi analisado o cenário NNE completo, cenário no qual a área de abrangência é maior, e as demandas são bem concentradas nas capitais de cada estado.

No cenário Sul, as demandas são menos dispersas, pois o espaço geográfico é menor. Como as diferenças populacionais entre o interior e as capitais desta região são menores do que no caso do Norte e Nordeste, as diferenças entre demandas das capitais para o interior são menos acentuadas no caso do Sul.

Para o caso base foi feito ainda um estudo variando o preço do produto, e assim alterando de maneira direta o valor da conta de impostos a serem pagos.

De maneira geral, os cenários podem ser identificados pela quantidade de fornecedores, CDs, clientes e produtos, e, conseqüentemente a quantidade de restrições, variáveis e elementos não nulos gerados pela formulação, conforme mostra a Tabela 3, a seguir.

	Fornecedores (i)	CDs (j)	Cientes (c)	Produtos (p)	Restrições	Variáveis	Não nulos
Caso Base	3	3	3	1	9	30	84
NNE	16	41	69	9	806	407.417	1.222.169
Sul	4	15	105	9	1140	283.515	850.515

Tabela 3 – Tamanhos das instâncias

Fonte: Autoria própria

O gráfico da Figura 18, a seguir, foi criado para comparar os volumes de demanda dos cenários NNE e Sul.

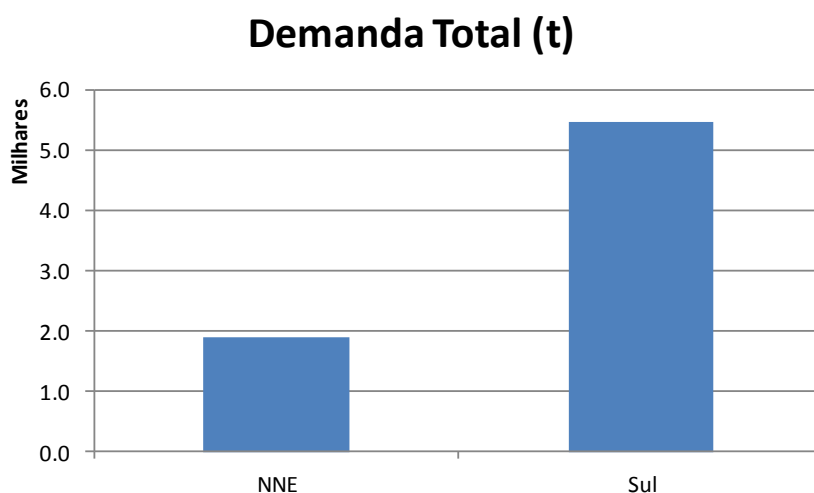


Figura 18 – Demandas dos Casos NNE e Sul

Fonte: Autoria própria

6.2. Caso Base

Conforme dito anteriormente, o cenário do caso base consiste em um subconjunto da instância NNE. Foram selecionados três fornecedores (Natal, Teresina e Fortaleza), três possíveis CDs (Iguatu (CE), Petrolina (PE) e Juazeiro (BA)), três clientes (Salvador, Camaçari e Vitória da Conquista, todos na Bahia) e um único produto.

Como todos os estados do cenário são da região Nordeste, a alíquota de ICMS intraestadual é 12% e a interestadual é 7%. Portanto, todos os fluxos têm alíquota 7%, menos a transferência do fornecedor de Fortaleza para o CD Iguatu e do CD Juazeiro para os clientes da Bahia, que possuem alíquota 12%.

A escolha destas localidades de fornecedores, CDs e clientes não foi aleatória. Para facilitar o entendimento, procurou-se criar uma cadeia alinhada verticalmente no mapa do Brasil, conforme mostra a seta da Figura 19, a seguir. Os fornecedores estão alinhados horizontalmente, e os clientes estão localizados em um mesmo estado e alinhados horizontalmente também.

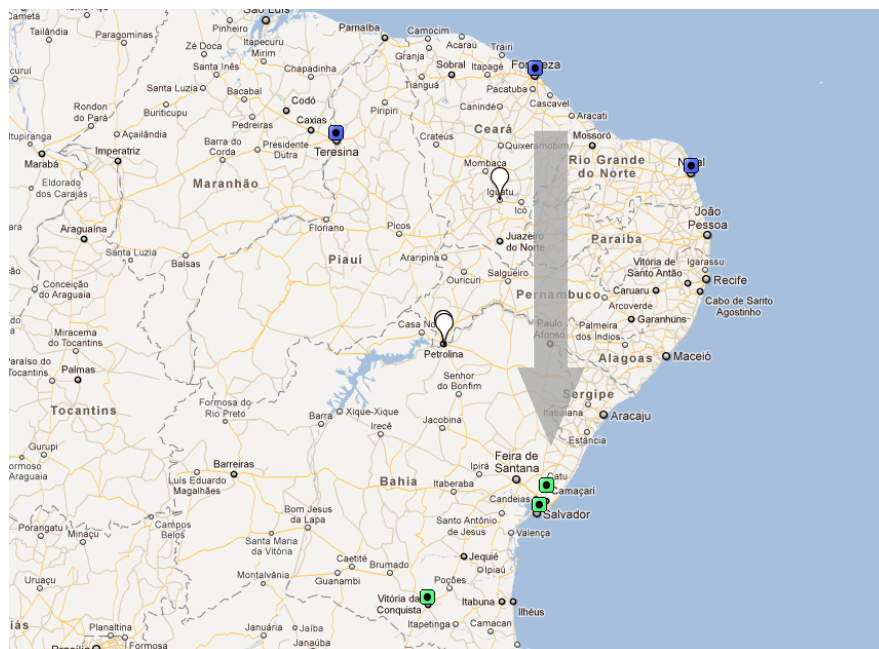


Figura 19 – Localidades do Cenário Base

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

Na imagem da Figura 19, acima, os quadrados azuis representam os clientes, os pontos brancos os possíveis CDs e os quadrados verdes os clientes.

Os CDs de Petrolina e Juazeiro foram selecionados por serem muito próximos, porém em estados diferentes, o que pode ser significativo para os cenários com ICMS. Como na imagem acima não é possível distinguir estes dois CDs, a imagem da Figura 20, a seguir, foi criada de modo a ampliar esta região. A linha pontilhada representa a divisa entre os estados de Pernambuco e da Bahia.

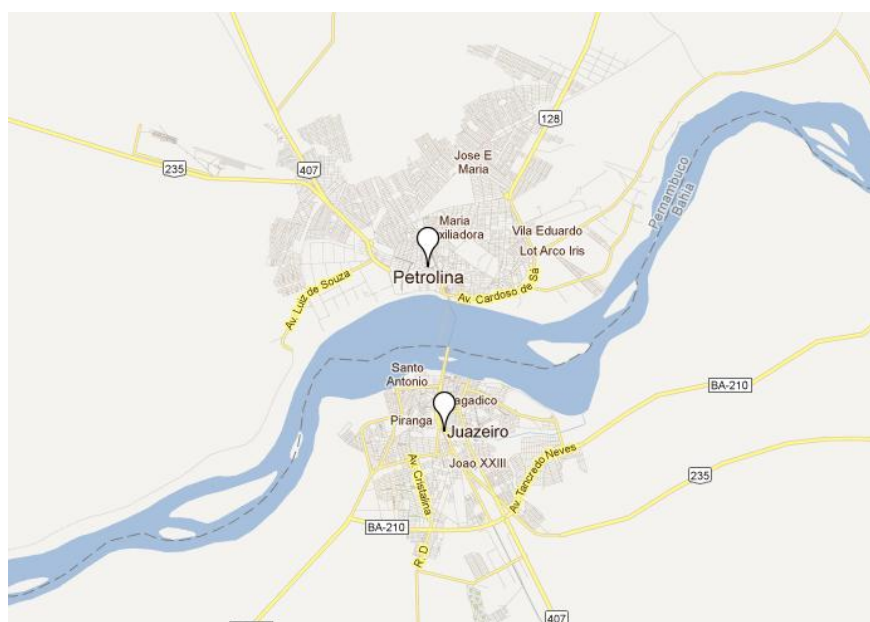


Figura 20 – CDs de Petrolina e Juazeiro

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

Como a cadeia é vertical e o custo unitário de transferência (fornecedor-cd) é maior do que o custo de distribuição (cd-cliente), em uma análise puramente logística, é de se esperar que, por ser mais próximo dos fornecedores, o CD de Fortaleza seja aberto.

Como o volume transportado é pequeno, já que a instância tem poucos clientes, o custo de armazenagem é muito superior ao do transporte, inviabilizando a abertura de mais de um CD.

6.2.1. Análise sem Aspectos Fiscais (Análise Logística)

Os resultados do cenário são apresentados na imagem da Figura 21, a seguir, onde: o ponto amarelo representa o CD que foi utilizado, as linhas pretas ilustram os fluxos de transferência (espessura proporcional ao volume), e as linhas verdes exibem os fluxos de distribuição (espessura proporcional ao volume)

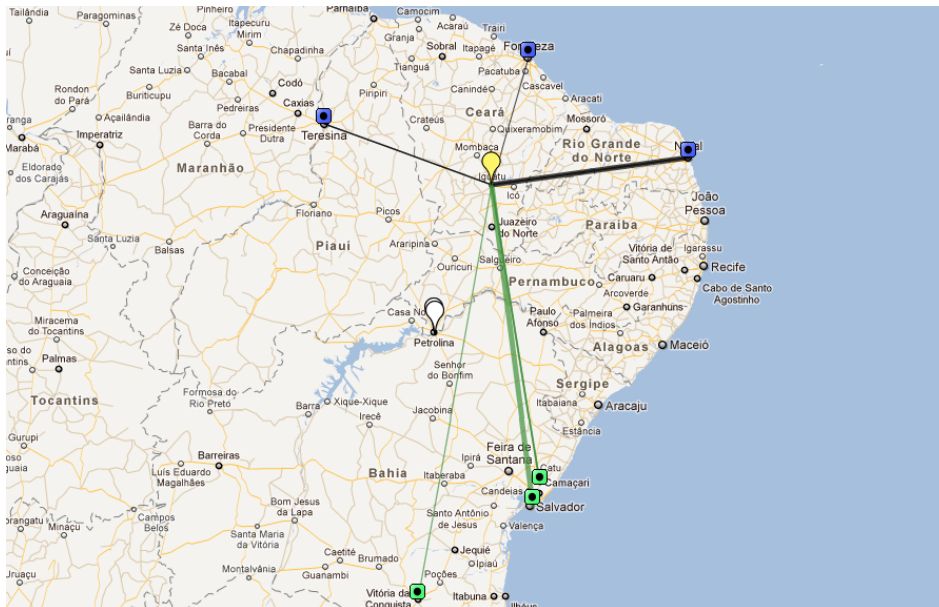


Figura 21 – Mapa do Caso Base (Logístico)

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

A Figura 22, a seguir, apresenta os resultados do caso base. Conforme esperado, o CD de Fortaleza foi aberto, e, mesmo assim, o custo de transferência é consideravelmente maior do que o de distribuição. Como não são considerados custos tributários nem *markup* nos CDs a margem é zero, assim como o benefício fiscal.

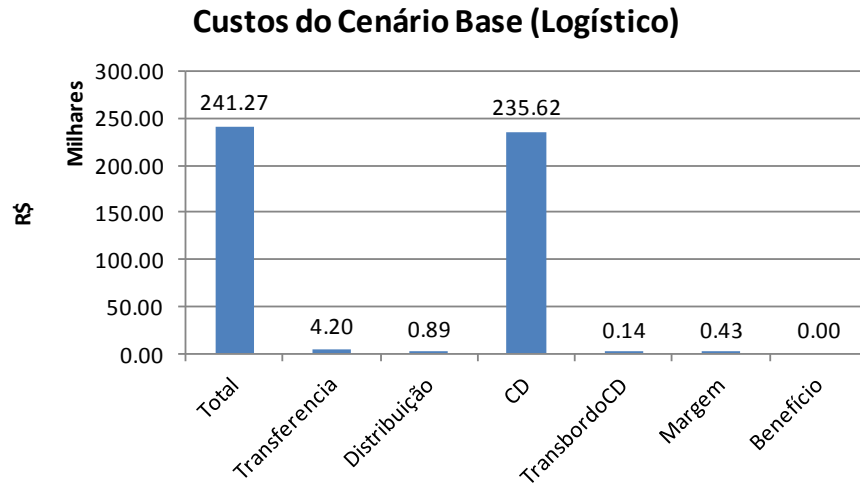


Figura 22 – Custos do Caso Base (Logístico)

Fonte: Autoria própria

6.2.2. Análise com Aspectos Fiscais

Os resultados deste cenário podem ser vistos na Figura 23, a seguir. Foi gerada a mesma configuração de CDs do caso anterior, porém o custo total ficou maior, dado que o CD de Iguatu agora está gerando crédito morto. Isto acontece porque o material proveniente de Fortaleza chega a uma alíquota de 12% e é enviado ao mesmo preço para a Bahia com uma alíquota de 7%.

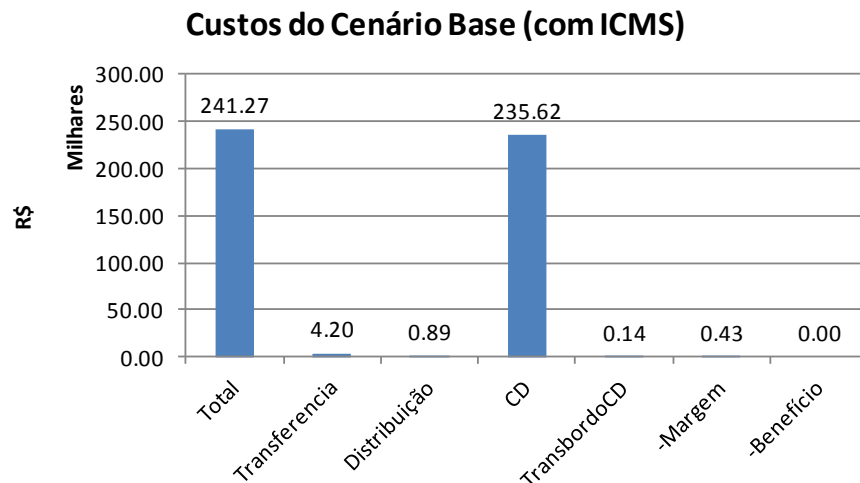


Figura 23 – Custos do Caso Base (com ICMS)

Fonte: Autoria própria

Conforme mencionado em 6.1, foi gerado um novo cenário para este caso base, alterando-se o preço do produto de R\$10,00 para R\$34,00, valor original da família. Esta alteração foi suficiente para rebalancear a malha, alterando o CD a ser aberto para o de Petrolina. Isto ocorre porque o custo do tributo é proporcional ao valor da mercadoria transportada, portanto, o crédito morto (custo) que estaria sendo gerado em Iguatu compensa um maior transporte com o frete de transferência, mais caro, e uma redução no trajeto de distribuição, mais barato.

A Figura 24, a seguir, ilustra os resultados para este cenário base modificado.

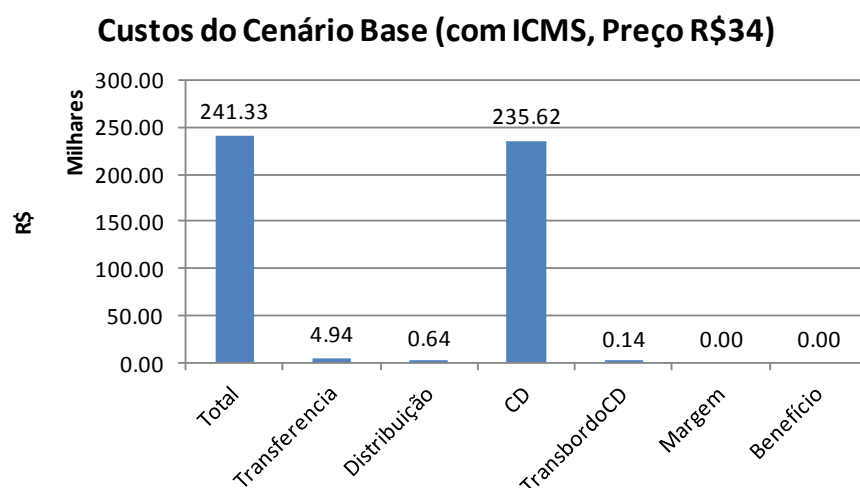


Figura 24 – Custos do Caso Base (com ICMS e Preço R\$ 34,00)

Fonte: Autoria própria

6.2.3. Análise com Aspectos Fiscais sem Crédito Morto

Este é o caso em que se restringe a geração de crédito morto nos CDs. Com isso, podem-se obter cenários em que o ótimo logístico e tributário não seja atingido, conforme mostra a Figura 25, a seguir.

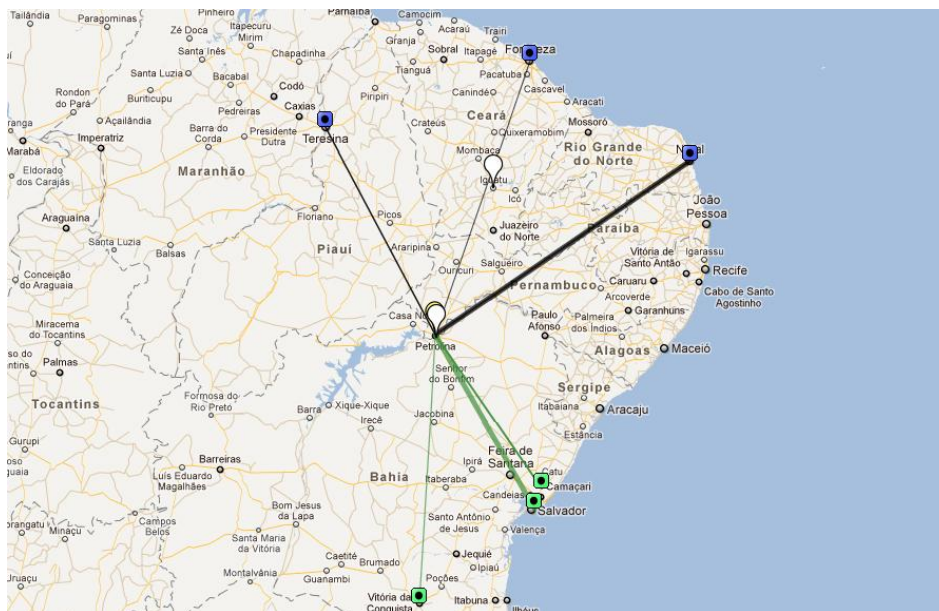


Figura 25 – Mapa do Caso Base (com ICMS, sem Crédito Morto)

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

Com a impossibilidade de operar o CD de Iguatu, o CD de Petrolina foi aberto, ficando idêntico ao caso em que se permite a geração de crédito morto, mas o preço do produto é maior, aumentando os tributos, conforme pode ser visto nos resultados apresentados na Figura 26, a seguir.

Custos do Cenário Base (com ICMS, sem Crédito Morto)

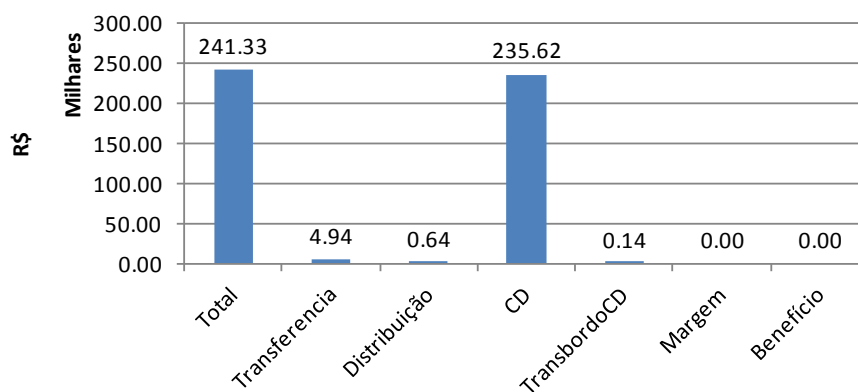


Figura 26 – Custos do Caso Base (com ICMS sem Crédito Morto)

Fonte: Autoria própria

6.2.4. Análise com Aspectos Fiscais e Benefícios

Para este cenário considerou-se a mesma instancia do cenário com crédito morto, porém é adicionado um incentivo fiscal de 1% de crédito presumido nas saídas o CD da Bahia.

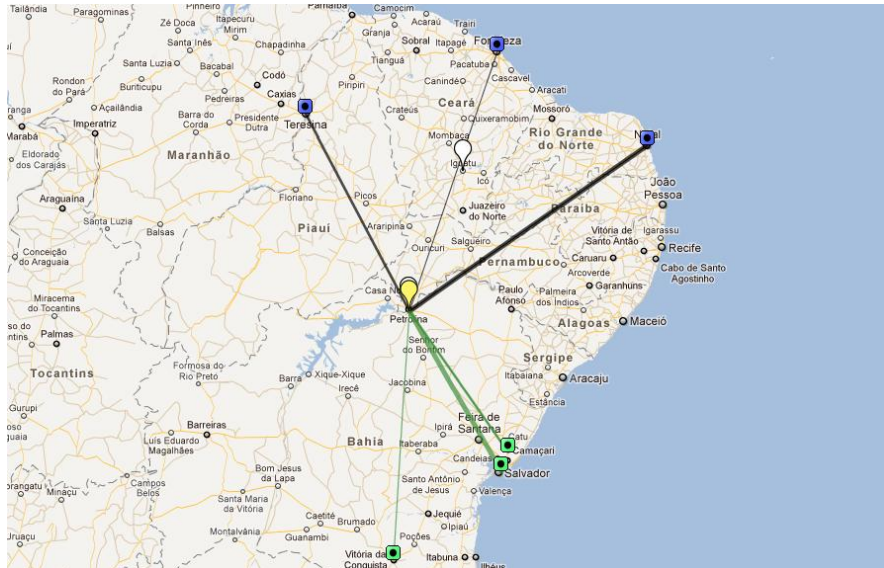


Figura 27 – Mapa do Caso Base (com ICMS e Benefícios)

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

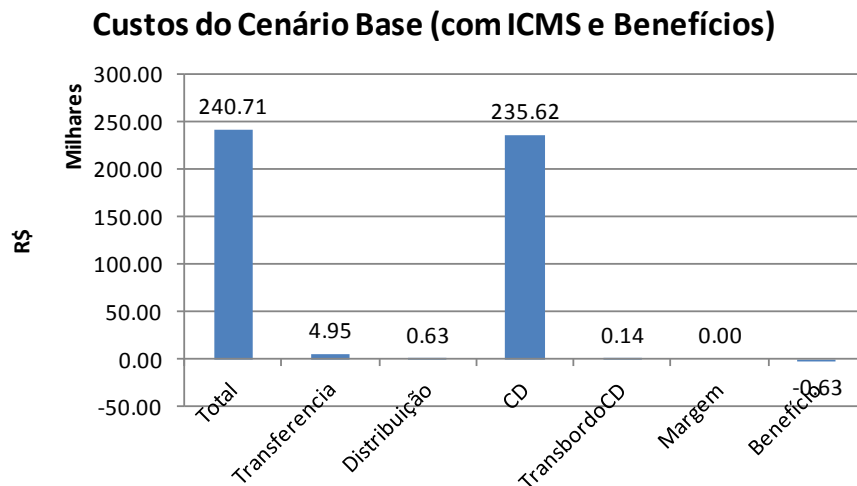


Figura 28 – Custos do Caso Base (com ICMS sem Crédito Morto)

Fonte: Autoria própria

A Figura 27 e a Figura 28, acima, apresentam o resultado para este cenário: a abertura do cd de Juazeiro, pois o benefício de R\$ 627,22 compensou o pequeno aumento de R\$ 4,62 nos gastos com transportes, já que as localidades são muito próximas.

6.2.5. Resumo do Caso Base

Conforme exposto anteriormente, tanto o custo fixo quanto o custo de transbordo será sempre igual para os CDs em todos os cenários do caso base.

No caso do custo fixo isso ocorre, pois é necessário existir ao menos um CD e porque a ordem de grandeza deste custo é muito superior ao de transportes com pouca demanda. E no caso do custo variável isso acontece, pois toda a demanda tem que passar pelo CD aberto em todos os casos.

Para uma melhor interpretação dos cenários, foi elaborado o gráfico da Figura 29, que exclui os custos relacionados às instalações, de modo a facilitar a comparação. A cor de cada barra indica a localidade da instalação que foi utilizada, conforme a legenda.

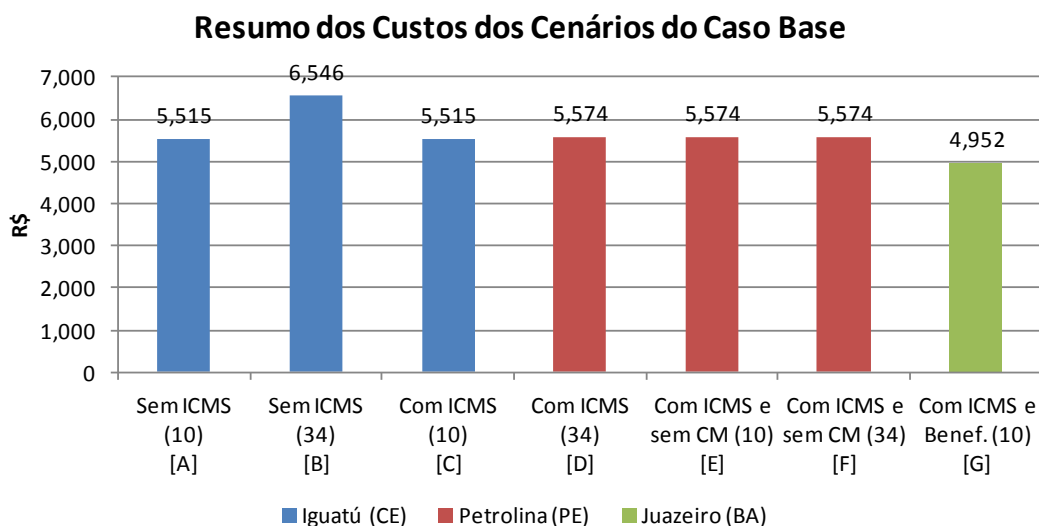


Figura 29 – Resumo dos Custos dos Cenários do Caso Base

Fonte: Autoria própria

Analisando os gráficos da Figura 29 é possível chegar a duas conclusões, detalhadas a seguir.

A primeira é que a consideração do ICMS pode alterar a configuração da malha. Isso pode ser percebido ao comparar os cenários B e D, onde o preço do produto é o mesmo, porém, a inclusão do custo do tributo acarretou na alteração da localização do CD, de modo a não incorrer na geração de crédito morto, evitando um custo maior. Isso pode ser melhor visualizado no gráfico da Figura 30, a seguir. No cenário D não existe nenhuma penalidade por ICMS (não é considerado na função objetivo). A comparação do cenário A com G também exemplifica esta situação, porém agora com o desbalanceamento devido ao incentivo fiscal.

A segunda conclusão é que, apesar de a geração de crédito morto ser indesejada, ao restringi-la, pode-se jogar fora o cenário ótimo. Isso pode ser observado ao se comparar os cenários C e E do gráfico da Figura 30. No cenário C existe uma parcela de margem negativa (crédito morto), mas, mesmo assim, este cenário possui custo total menor que E.

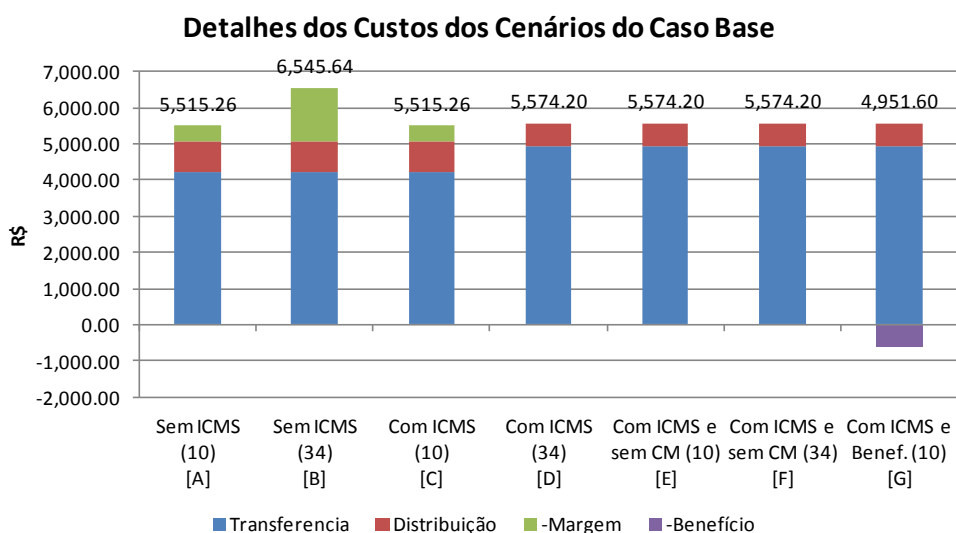


Figura 30 – Detalhe dos Custos dos Cenários do Caso Base

Fonte: Autoria própria

6.3. Caso Norte e Nordeste

O caso NNE é caracterizado por uma ampla área de atendimento, que vai desde o Amazonas até o sul da Bahia. Devido à maneira como essa região se desenvolveu, estes estados contêm, em geral, uma grande cidade que demanda muitos produtos, a capital, e diversas outras demandas menores nas cidades do interior, conforme mostra a imagem da Figura 31, onde está plotada a demanda por UR em uma parte do Nordeste brasileiro.

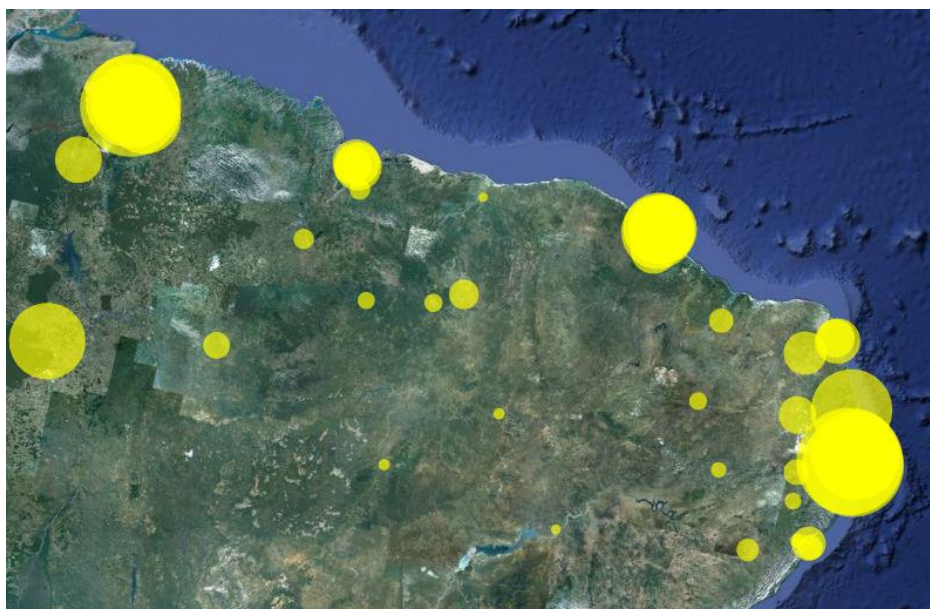


Figura 31 – Exemplo da Demanda no Nordeste

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

No nível de UF, a demanda do Norte e Nordeste está concentrada nos estados do Amazonas e Pernambuco, tendo grande representatividade também no Ceará, na Bahia e em Alagoas, conforme ilustra o gráfico da Figura 32, a seguir.

Demandas por UF - NNE

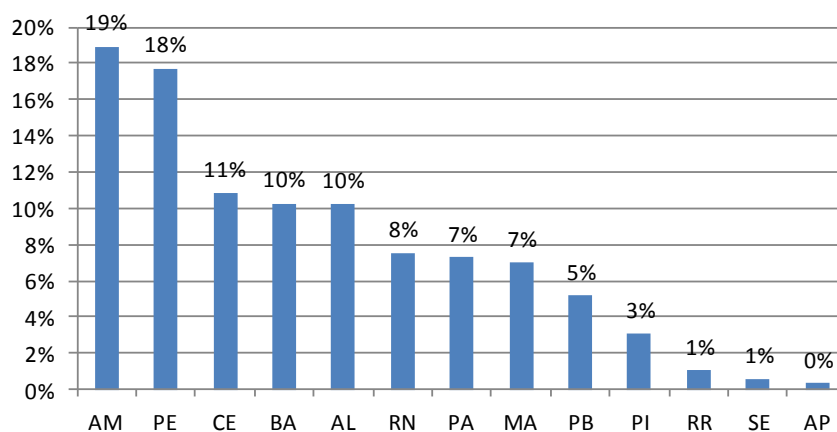


Figura 32 – Demandas por UF – Sistema NNE

Fonte: Autoria própria

É interessante também termos o conhecimento de como está distribuída a capacidade de fornecimento no primeiro elo da cadeia. Os fornecedores dos estados do Norte e Nordeste estão localizados principalmente na região Sudeste (SP e RJ), seguidos pelos estados do Ceará e Pernambuco com menor representatividade, conforme mostra a Figura 33, a seguir.

Suprimento por UF - NNE

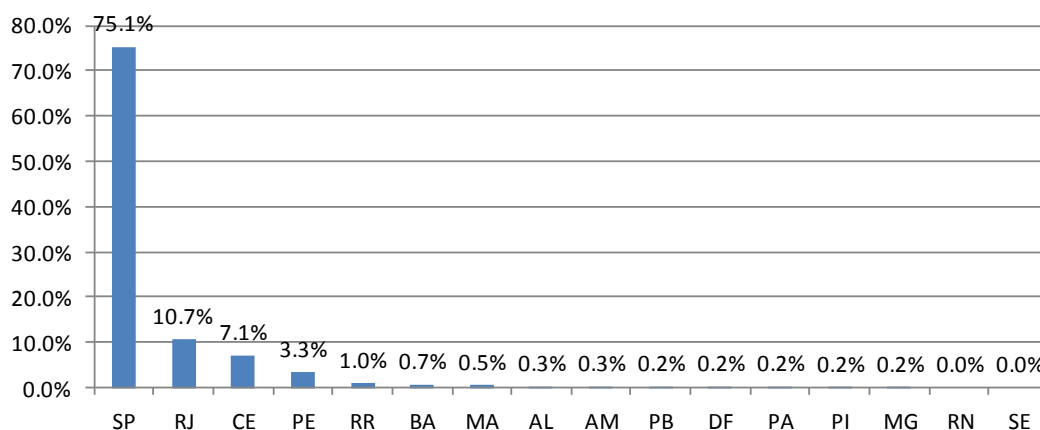


Figura 33 – Suprimento por UF – Sistema NNE

Fonte: Autoria própria

As localidades propostas como possíveis CDs a serem utilizados foi baseada no conhecimento da operação, que identifica possíveis regiões centrais de fluxo e nos locais de maior concentração de suprimento e demanda. O resultado para este caso foi uma lista de 41 cidades: Maceió (AL), Manaus (AM), Macapá (AP), Salvador (BA), Juazeiro (BA), Jacobina (BA), Vitória da Conquista (BA), Itabuna (BA), Feira de Santana (BA), Fortaleza (CE), Juazeiro do Norte (CE), Iguatu (CE), Horizonte (CE), Russas (CE), Sobral (CE), São Luis (MA), Imperatriz (MA), Caxias (MA), Bacabal (MA), Belém (PA), Ananindeua (PA), Umarituba (PA), Marabá (PA), Santarém (PA), Castanhal (PA), João Pessoa (PB), Campina Grande (PB), Patos (PB), Cabedelo (PB), Olinda (PE), Petrolina (PE), Caruaru (PE), Recife (PE), Teresina (PI), Picos (PI), Floriano (PI), Parnaíba (PI), Natal (RN), Boa Vista (RR), Aracaju (SE), São Paulo (SP).

Para uma melhor visualização dos elos da cadeia, plotou-se, no mapa do Brasil, cada elo da cadeia, conforme a Figura 34 (fornecedores), a Figura 35 (clientes) e a Figura 36 (possíveis CDs), a seguir.

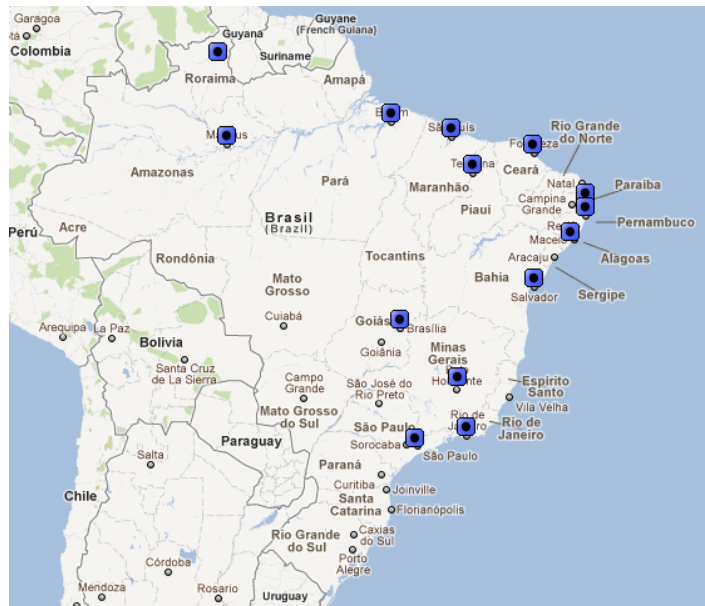


Figura 34 – Fornecedores do Caso NNE

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

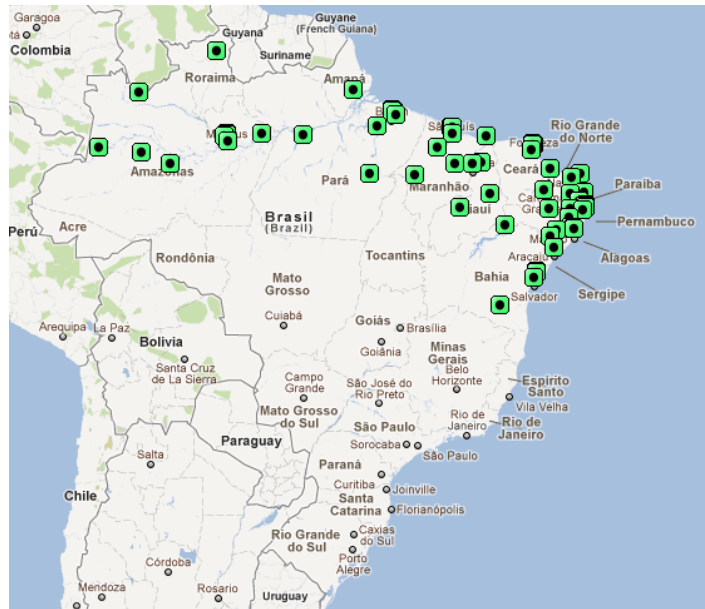


Figura 35 – Clientes (URs) do Caso NNE
 Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

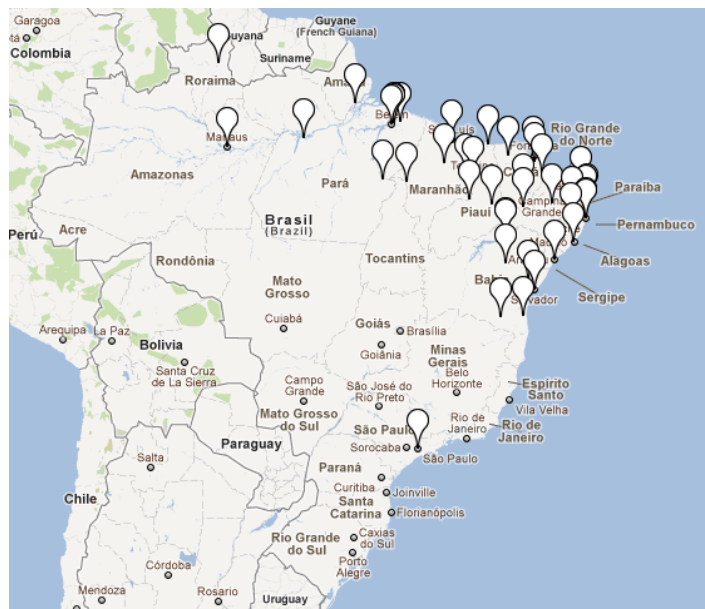


Figura 36 – Possíveis CDs do Caso NNE
 Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

6.3.1. Análise sem Aspectos Fiscais (Análise Logística)

Na análise logística do caso NNE, o modelo sugere a abertura de duas instalações, uma em São Paulo e outra em Fortaleza.

A abertura do CD em São Paulo já era esperada, pois o custo de transferência é superior ao de distribuição, logo a formulação tende a localizar as instalações próximas aos centros de suprimento. No caso de São Paulo, destaca-se ainda a proximidade com outro grande fornecedor, o Rio de Janeiro.

A escolha por Fortaleza também segue o mesmo raciocínio, pois este é o terceiro maior fornecedor e, além disso, está localizado em uma área central para o atendimento da demanda.

A Figura 37, a seguir, mostra os fluxos de transferência do cenário logístico do caso NNE.

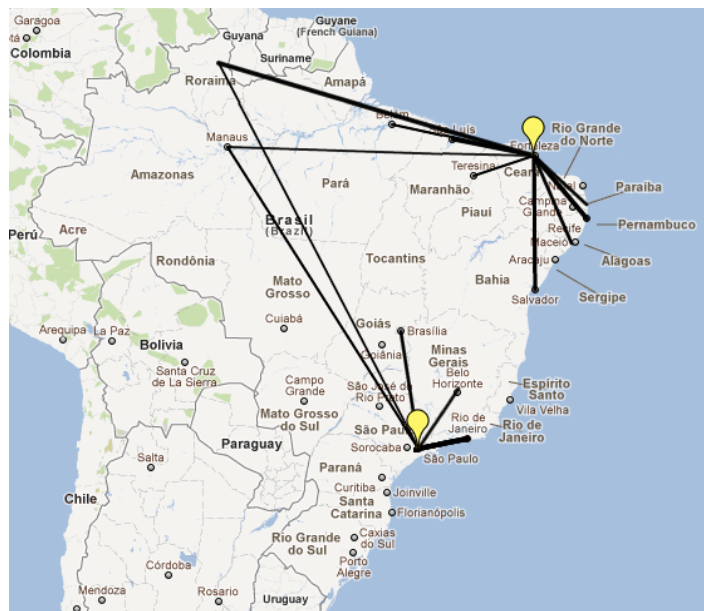


Figura 37 – Fluxos de Transferência do Cenário Logístico do Caso NNE

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

A Figura 38, a seguir, mostra os fluxos de distribuição do cenário logístico do caso NNE.

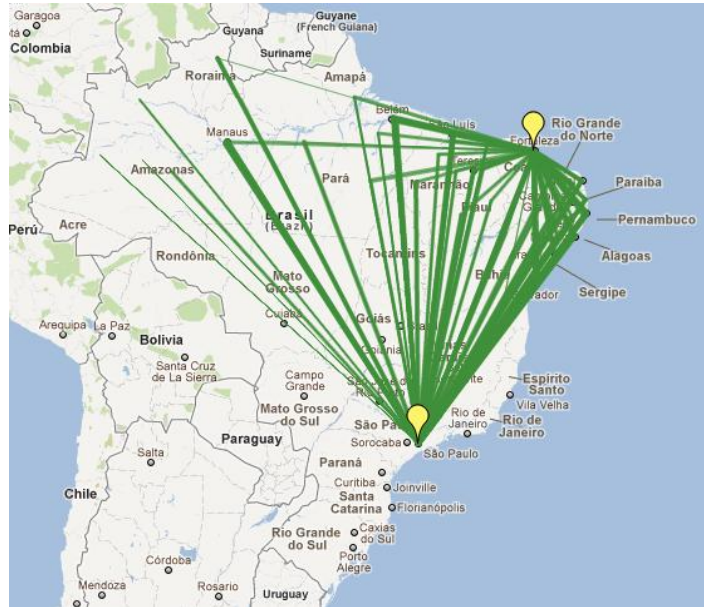


Figura 38 – Fluxos de Distribuição do Cenário Logístico do Caso NNE

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

Analisando os custos do cenário, exibidos na Figura 39, a seguir, percebe-se que os custos de distribuição são a maior parcela, seguida pela perda de margem devido ao crédito morto. Porém esta ultima parcela ainda não é levada em conta na função objetivo deste cenário.

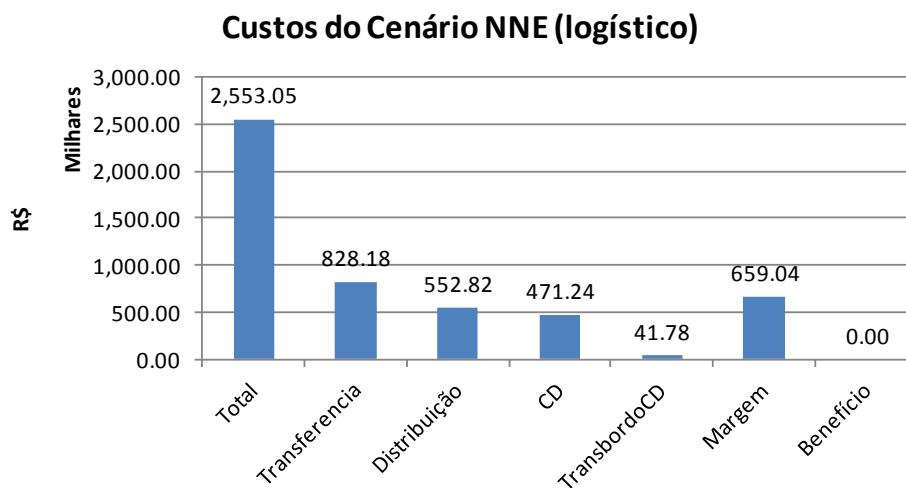


Figura 39 – Custos do Cenário Logístico do Caso NNE

Fonte: Autoria própria

6.3.2. Análise com Aspectos Fiscais

Ao adicionar a parcela de margem (ou prejuízo) na função objetivo do caso NNE, obtém-se o cenário que considera os aspectos fiscais no balanceamento da malha logística.

Como resultado, os CDs utilizados na rede foram o de São Paulo e Aracajú, que possuem as margens acumuladas mostradas na

Tabela 4, a seguir.

CD	Margem
São Paulo	-R\$ 132,496.40
Aracajú	-R\$ 11,272.41

Tabela 4 – Margem nos CDs do Cenário com ICMS do Caso NNE

Fonte: Autoria própria

A proximidade do CD de São Paulo de praticamente 86% do volume suprido (SP e RJ) traz benefícios superiores à perda de margem gerada por essa operação. A compra por SP do próprio estado (alíquota 18%) e do RJ (alíquota 12%) e a distribuição para o Norte e Nordeste a uma alíquota de 7% gera R\$ 132,5 mil de crédito morto, mas ainda é vantajoso, frete à economia de frete de transferência, haja vista a proximidade com os fornecedores.

Para a localização do segundo CD, o modelo adota estratégia contrária ao CD de São Paulo, pois agora as distâncias são mais curtas, e, conseqüentemente, os ganhos na redução do frete transferência são menores. A estratégia foi então a de localização no estado de menor volume de suprimento: Sergipe. Com isso, além de ser uma localidade central, minimiza-se o volume de fluxo, que terá alíquota de 17% na transferência e 12% na distribuição, que gera crédito morto.

A Figura 40, a seguir, retrata os fluxos de transferência dos fornecedores aos CDs. Percebe-se que parte do volume vindo do fornecedor de São Paulo vai para o CD de

Aracajú, pois o valor do crédito morto gerado por passar no CD São Paulo não compensa o maior custo do frete transferência até o SE.

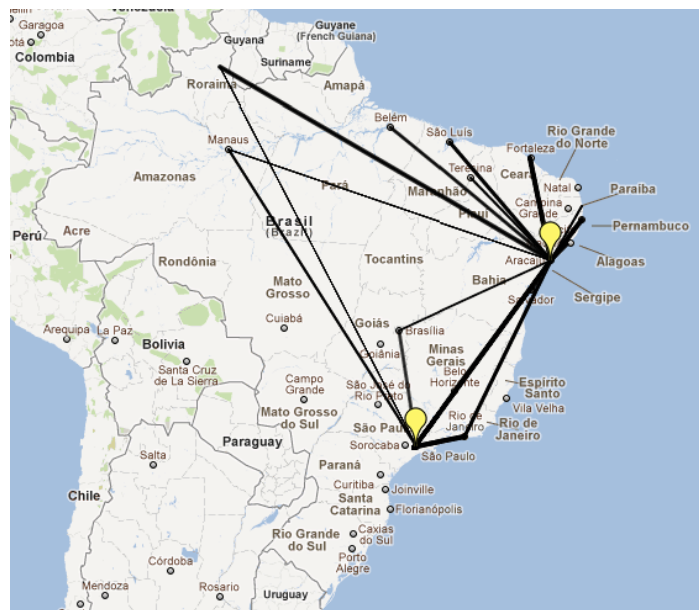


Figura 40 – Fluxos de Transferência do Cenário com ICMS do Caso NNE

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

Os custos do cenário apresentam uma redução significativa na parcela de margem negativa, e um aumento em menores proporções no custo de transferência. Com isso o valor final do cenário ficou 14% menor que o caso anterior, conforme pode ser visto na Figura 41, a seguir.

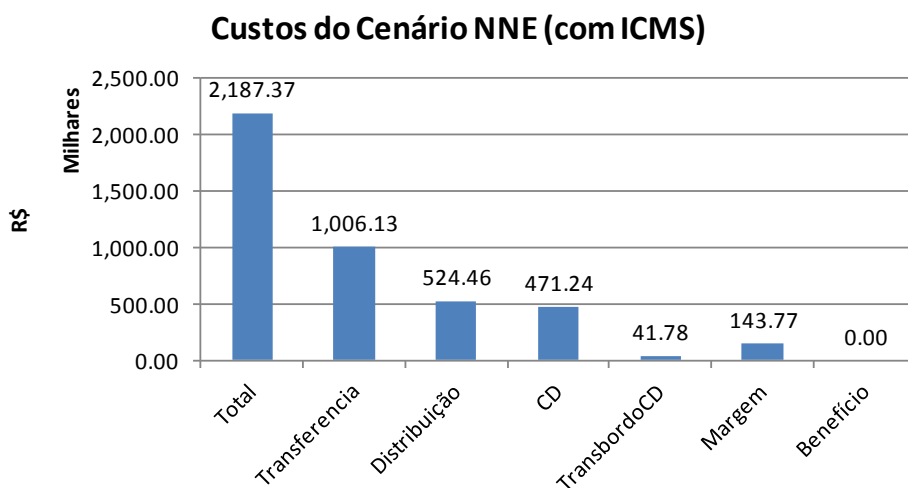


Figura 41 – Custos do Cenário com ICMS do Caso NNE

Fonte: Autoria própria

6.3.3. Análise com Aspectos Fiscais sem Crédito Morto

O cenário em que é adicionada a restrição de não geração de crédito morto obteve um resultado de custo total 6,5% acima do caso anterior, conforme pode ser visto na Figura 42, a seguir.

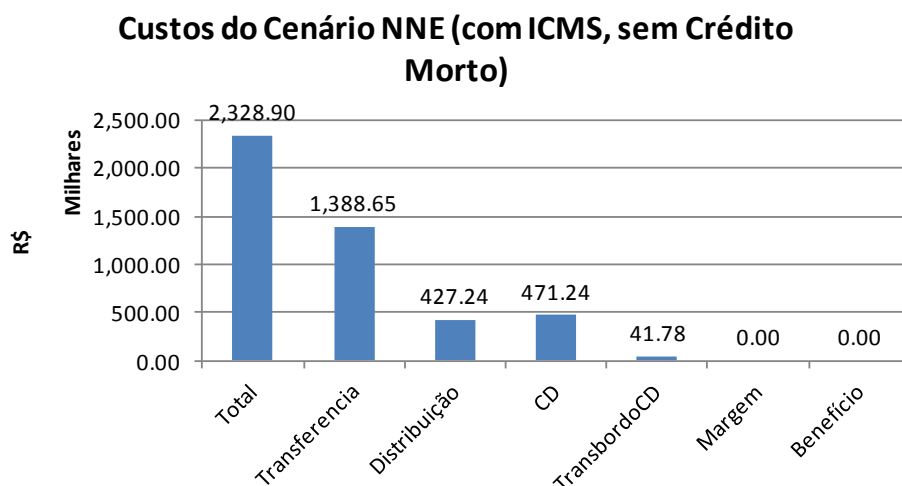


Figura 42 – Custos do Cenário com ICMS, sem Crédito Morto do Caso NNE

Fonte: Autoria própria

Os CDs que entraram em operação foram o de Vitória da Conquista (BA) e Caxias (MA). O CD de São Paulo, que nos casos anteriores era utilizado, não pode ser aberto neste cenário, visto que todos os estados de destino estão no Norte e Nordeste (tendo alíquota de 7%) e a menor alíquota para a compra via São Paulo é de 12%, o que geraria crédito morto.

Continuando a mesma linha de raciocínio, conclui-se que, neste caso, nenhum estado pode comprar de si próprio e enviar para outra UF, já que a alíquota de entrada seria maior que a da saída. Uma alternativa é a compra dentro do estado, porém com distribuição para o mesmo estado. E é exatamente isso que percebemos na Figura 43, a seguir.

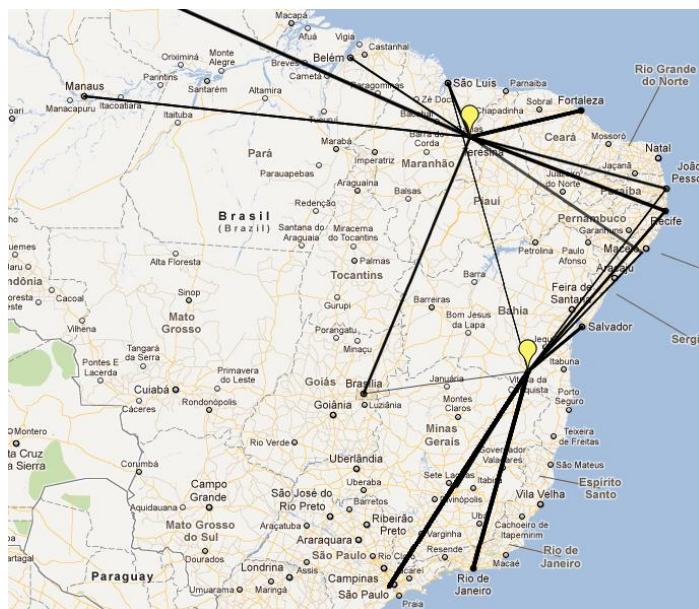


Figura 43 – Fluxos de Transferência do Cenário com ICMS sem Crédito Morto do Caso NNE

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

O fornecedor do MA envia parte de seus produtos para o CD em Caxias (MA) e uma parcela menor para o CD de Vitória da Conquista (BA). Essa hipótese foi validada ao se filtrar, nos resultados obtidos pelo modelo, todos os fluxos com fornecedor de origem MA e CD Caxias, e ao se confirmar que todo este volume permanecia dentro do estado, conforme mostra a

Tabela 5, a seguir.

Fornecedor	CD	Cliente	Produto	Volume Transportado (kg)	Demanda Total (kg)
MA	Caxias (MA)	MA-CXS	5	98,01	98,01
MA	Caxias (MA)	MA-ANL	5	501,47	501,47
MA	Caxias (MA)	MA-ANL	8	2.801,85	17.515,56
MA	Caxias (MA)	MA-ITZ	1	57,43	57,43
MA	Caxias (MA)	MA-ITZ	5	272,58	272,58
MA	Caxias (MA)	MA-CEN	1	47,26	114,22
MA	Caxias (MA)	MA-CEN	4	278,07	278,07
MA	Caxias (MA)	MA-CEN	5	353,14	542,08
MA	Caxias (MA)	MA-BBL	3	10,61	33,4
MA	Caxias (MA)	MA-BBL	4	76,37	76,37
MA	Caxias (MA)	MA-BBL	5	148,87	148,87
MA	Caxias (MA)	MA-VHS	1	133,29	133,29
MA	Caxias (MA)	MA-VHS	4	176,42	324,51
MA	Caxias (MA)	MA-CHI	4	75,07	75,07

Tabela 5 – Volumes MA-MA-Cliente no Cenário com ICMS, sem Crédito Morto, do Caso NNE

Fonte: Autoria própria

Os fluxos de transferência deste cenário são exibidos no mapa da Figura 44, a seguir.

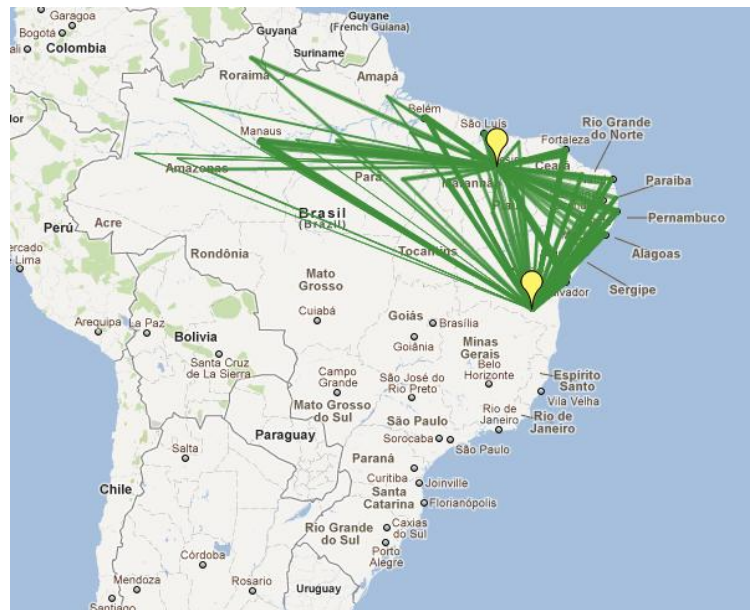


Figura 44 – Fluxos de Distribuição do Cenário com ICMS sem Crédito Morto do Caso NNE

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

6.3.4. Análise com Aspectos Fiscais e Benefícios

Este cenário simula um benefício fiscal do estado de Pernambuco, que visa atrair indústrias para a região. A alíquota aqui adotada foi de 3% apenas para estudo da rede logística.

O resultado de tal incentivo é a abertura de um terceiro CD na malha, em Recife, além de São Paulo e Belém, conforme mostra a Figura 45, a seguir.

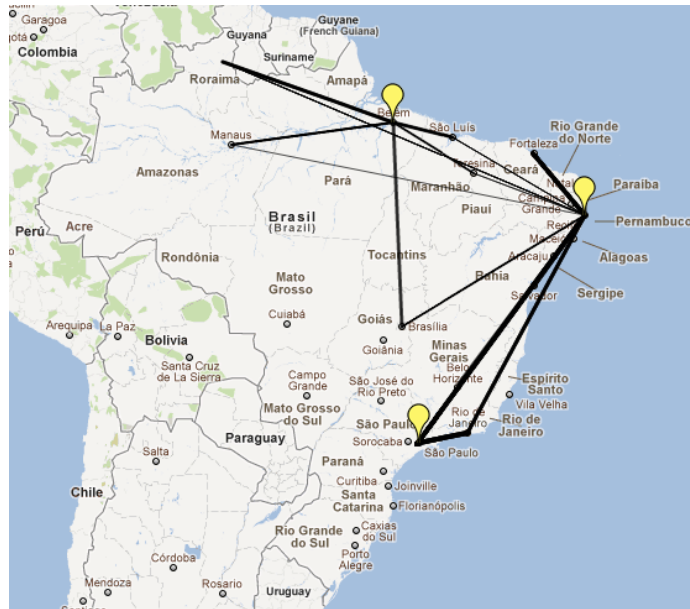


Figura 45 – Fluxos de Transferência do Cenário com ICMS e com Benefícios do Caso NNE

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

Com relação ao volume movimentado por cada CD, a Tabela 6, a seguir, indica que neste cenário a instalação de Recife teria capacidade similar à de São Paulo.

CD	Fluxo (kg)
PE-Recife	695.379,12
PA-Belém	496.461,25
SP-São Paulo	696.303,28

Tabela 6 – Volumes por CD no Cenário com ICMS e com Benefícios (NNE)

Fonte: Autoria própria

O gráfico da Figura 46, a seguir, exhibe os custos finais do cenário em questão.

Custos do Cenário NNE (com ICMS, com Benefícios)

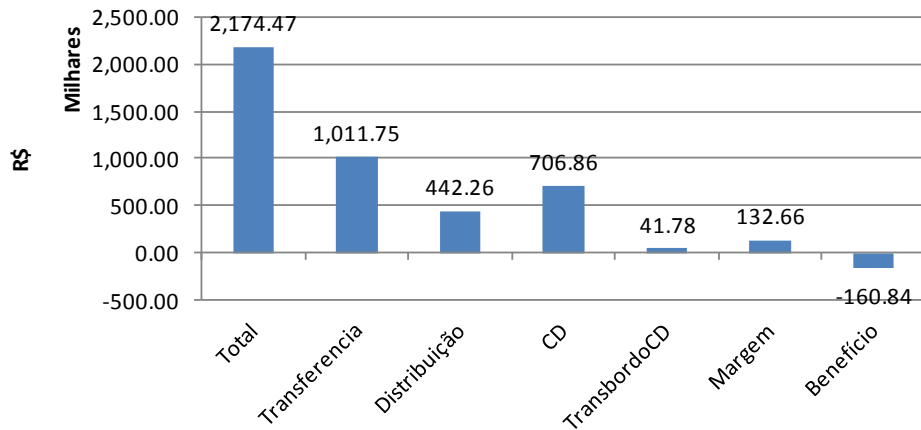


Figura 46 – Custos do Cenário com ICMS, com Benefícios do Caso NNE

Fonte: Autoria própria

6.3.5. Resumo do Caso NNE

De maneira uma geral, os cenários do caso NNE tiveram pequenas alterações no valor do custo total, de acordo com as variações de parâmetros. O CD de São Paulo foi utilizado em três dos quatro cenários, apenas ao restringir o acúmulo de crédito morto esta instalação não abriu. Com exceção do cenário D, que possui três CDs, todos os demais cenários possuem apenas duas instalações. O gráfico da Figura 47, a seguir, exhibe a estrutura de custos de cada um dos cenários do caso NNE.

Detalhamento dos Custos - Cenários NNE

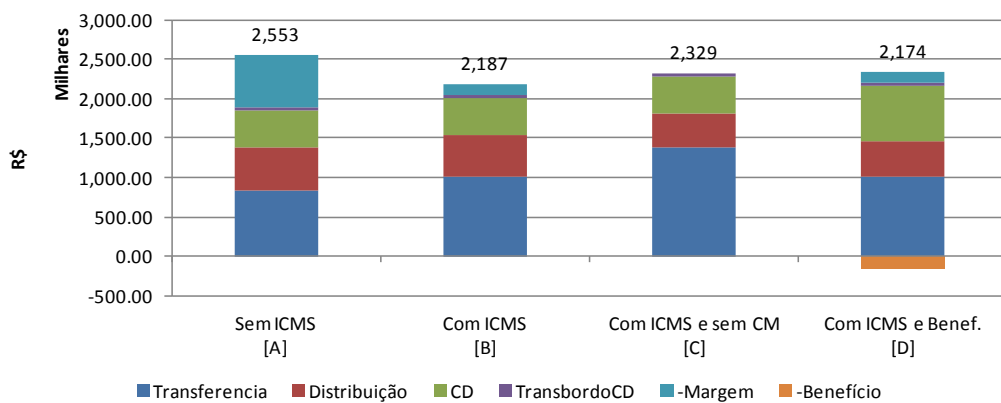


Figura 47 – Detalhe dos Custos dos Cenários do Caso NNE

Fonte: Autoria própria

O cenário A foi o que obteve o maior equilíbrio entre os diversos custos da situação, e o que produz o menor custo de distribuição. Os ganhos ao se comparar A com B são expressivos, o que corrobora a necessidade de uma análise conjunta entre custos logísticos e tributários para chegar ao cenário ótimo.

Ao restringir o crédito morto no cenário C, o resultado foi penalizado, e o custo de distribuição foi o maior de todos os cenários. Em D, a estrutura de custos é similar à B, porém a existência do benefício em Pernambuco possibilitou a abertura de uma terceira instalação, e ainda assim um custo total menor em 6%.

6.4. Caso Sul

O caso Sul é caracterizado por uma área de atendimento mais restrita, cobrindo os estados de Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo. Devido à maneira como essa região se desenvolveu, estes estados contêm, em geral, uma grande cidade que demanda muitos produtos, a capital, porém, diferentemente do Norte e Nordeste existe um maior número de cidades do interior que possuem demandas expressivas, como pode ser visto na Figura 48, a seguir.

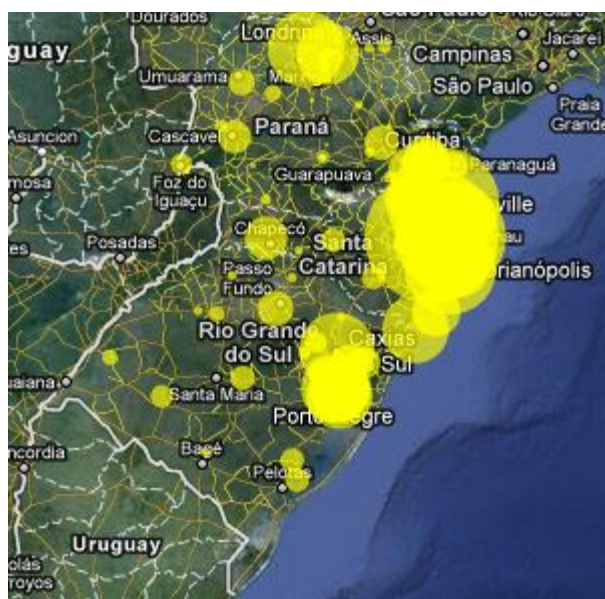


Figura 48 – Exemplo da Demanda no Sul
Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

No nível de UF, a demanda do Sul é de certa forma equilibrada, sendo o Rio Grande do Sul o estado mais representativo conforme ilustra o gráfico da Figura 49, a seguir.

Demandas por UF - Sul

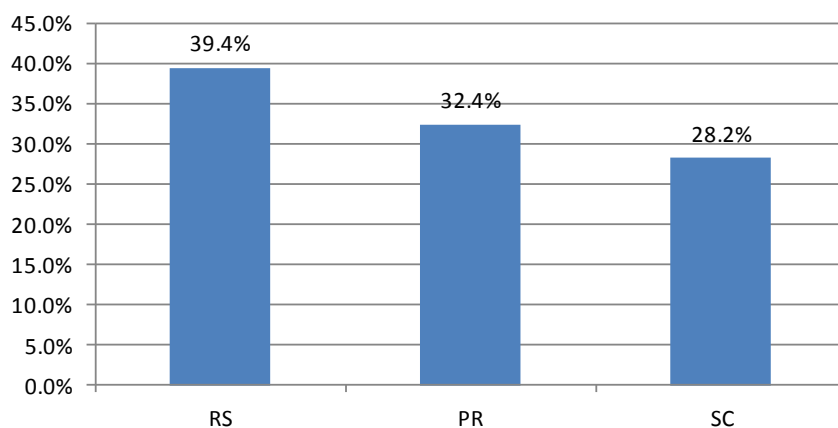


Figura 49 – Demandas por UF – Sistema Sul

Fonte: Autoria própria

É interessante, analisar como está distribuída a capacidade de fornecimento no primeiro elo da cadeia. Tem-se que 45% dos fornecedores dos estados do Sul estão localizados em São Paulo, sendo o restante do volume distribuído de maneira equilibrada entre as UFs do Sul, conforme mostra o gráfico da Figura 50, a seguir.

Suprimento por UF - Sul

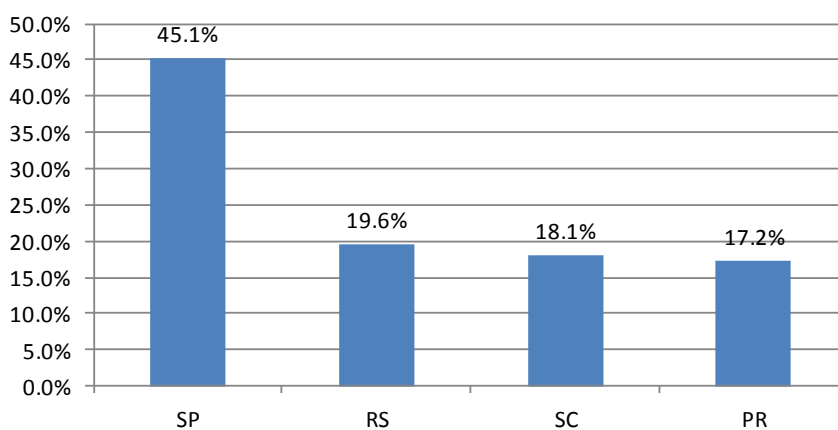


Figura 50 – Suprimento por UF – Sistema Sul

Fonte: Autoria própria

As localidades propostas como possíveis CDs a serem utilizados foram baseadas no conhecimento da operação, que permitiu identificar possíveis regiões centrais de fluxo e os locais de maior concentração de suprimento e demanda. O resultado para este caso foi uma lista de 15 cidades: São Paulo (SP), Curitiba (PR), Maringá (PR), Cascavel (PR), Florianópolis (SC), Blumenau (SC), Itajaí (SC), Joinville (SC), Chapecó (SC), Criciúma (SC), Lages (SC), Porto Alegre (RS), Caxias do Sul (RS), Pelotas (RS) e Santa Maria (RS).

Para uma melhor visualização dos elos da cadeia, esses foram plotados no mapa do Brasil, conforme a Figura 51 (fornecedores), a Figura 52 (clientes) e a Figura 53 (possíveis CDs), a seguir.

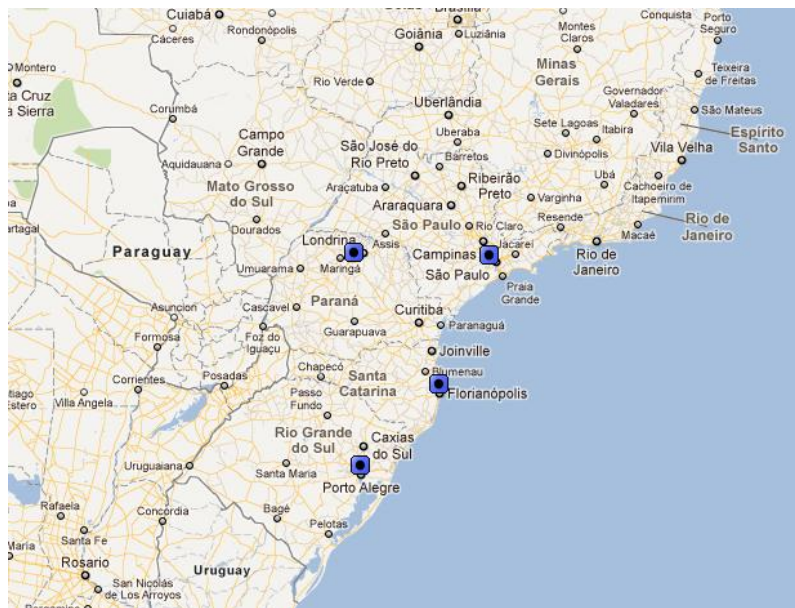


Figura 51 – Fornecedores do Caso Sul

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

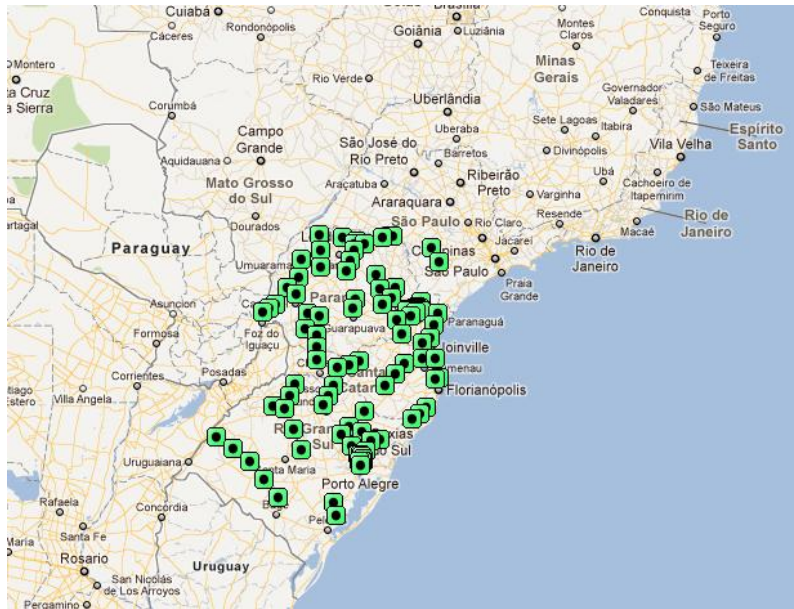


Figura 52 – Clientes (URs) do Caso Sul
 Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps



Figura 53 – Possíveis CDs do Caso Sul
 Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

Considerando-se que o objetivo de comparar as diferenças de modelagem com e sem crédito morto já foi alcançado com os dois casos analisados em detalhes anteriormente, para o caso Sul serão gerados apenas os cenários logísticos e com ICMS. O de

benefícios fiscais não serão analisados novamente, também, pois já foram analisados no caso de Pernambuco.

6.4.1. Análise sem Aspectos Fiscais (Análise Logística)

O cenário logístico, em que o valor da conta de tributos não é considerado na função objetivo, apresenta a rede ótima conforme o mapa da Figura 54, a seguir. Foram utilizadas as instalações de São Paulo, Florianópolis e Porto Alegre.

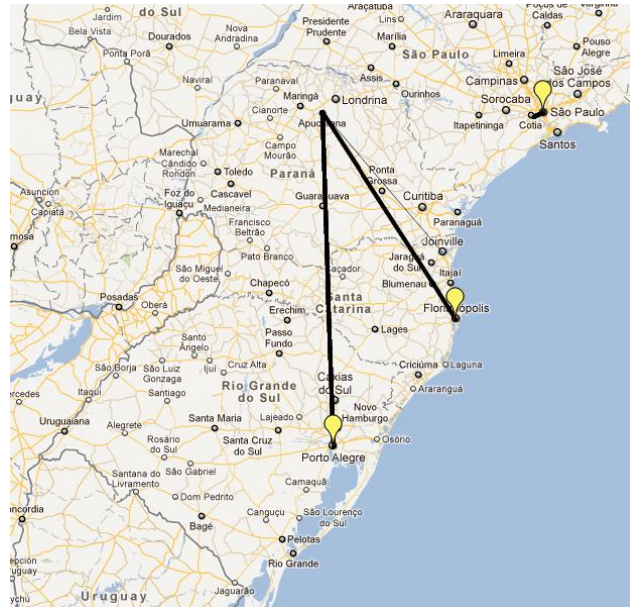


Figura 54 – Fluxos de Transferência do Cenário Logístico do Caso Sul

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

O estudo de caso do Sul possui volume 2,75 vezes maior que o do NNE, viabilizando a abertura de uma instalação a mais do que nos casos do NNE, sendo três instalações no total. A opção pela abertura em São Paulo já era esperada, visto que é um polo fornecedor muito grande, e, com esta decisão, o frete de transferência é minimizado, como pode ser visto no gráfico da Figura 55, a seguir.

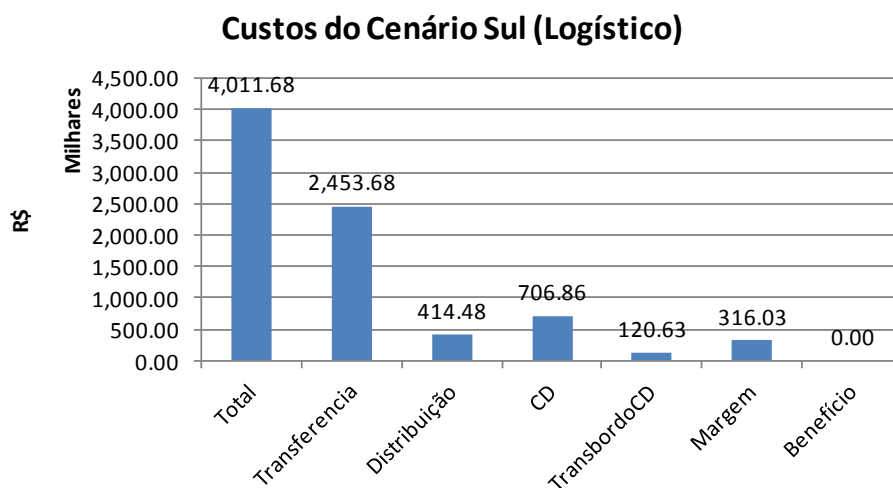


Figura 55 – Custos do Cenário Logístico do Caso Sul

Fonte: Autoria própria

Analisando-se o gráfico de resultados da Figura 55, o valor da parcela de frete transferência chama a atenção por seu alto valor. Mas, ao observar que o volume suprido pelo fornecedor do Paraná é 50% de todo o volume do caso NNE, este número parece mais plausível.

O mapa da Figura 56, a seguir, mostra, pela espessura das linhas, que o estado do Paraná é atendido em sua maioria pelo CD de São Paulo, dado sua proximidade. O CD de São Paulo faz ainda entregas no extremo oeste do Rio Grande do Sul.

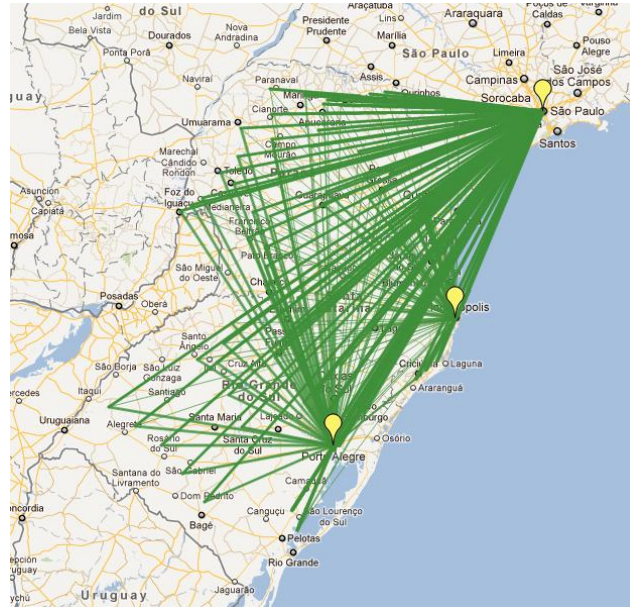


Figura 56 – Fluxos de Distribuição do Cenário Logístico do Caso Sul

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

6.4.2. Análise com Aspectos Fiscais

Ao se inserir a parcela de margem negativa na função de custos, foram gerados os resultados mostrados no gráfico da Figura 57, a seguir.

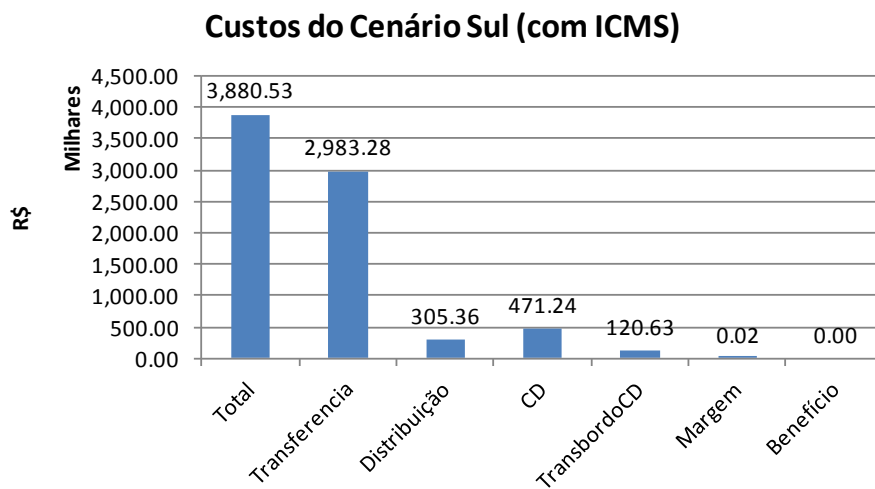


Figura 57 – Custos do Cenário com ICMS do Caso Sul

Fonte: Autoria própria

Como o volume transportado no caso Sul é expressivamente maior, quando se consideram os aspectos fiscais, o CD de São Paulo não abre, pois geraria crédito morto em grande escala. Isso pode ser visto na Figura 58, a seguir.

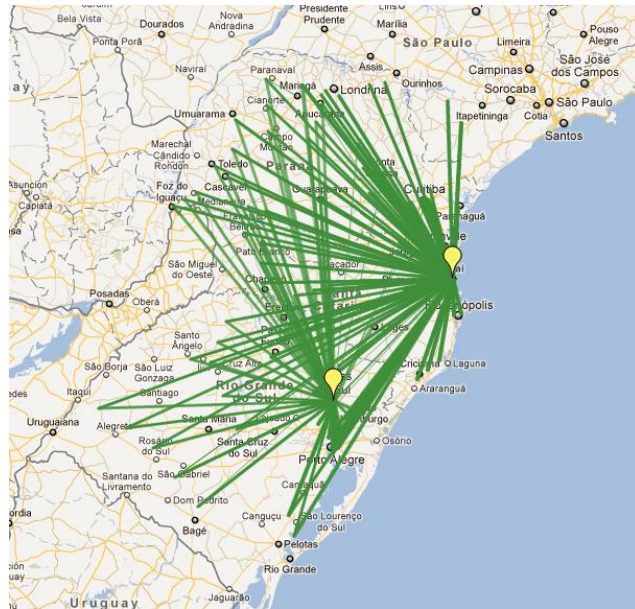


Figura 58 – Fluxos de Distribuição do Cenário com ICMS do Caso Sul

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

Como consequência, o antigo CD de Florianópolis foi deslocado para uma região mais próxima do fornecedor de SP, em Itajaí (SC), coletando todo o volume deste fornecedor, conforme mostra o mapa da Figura 59, a seguir.

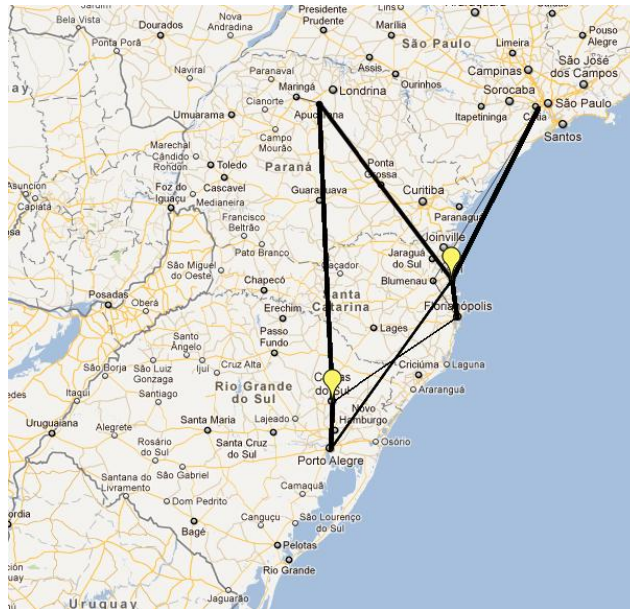


Figura 59 – Fluxos de Transferência do Cenário com ICMS do Caso Sul

Fonte: Autoria própria, mapa Google Maps

A segunda instalação ficou localizada em Caxias do Sul (RS) e movimentou pouco mais da metade do volume de Itajaí, como pode ser visto na Tabela 7, a seguir.

CD	Fluxo (kg)
SC-Itajaí	3,581,544
RS-Caxias do Sul	1,870,831

Tabela 7 – Volumes por CD no Cenário com ICMS do Caso Sul

Fonte: Autoria própria

6.4.3. Resumo do Caso Sul

De uma maneira geral, a economia potencial ao levar em consideração os aspectos fiscais no caso Sul é de 3%. Para reduzir a perda de margem, foi utilizado um maior volume de frete de transferência, principalmente pelo fechamento do CD de São Paulo e pelo deslocamento de seu fluxo para Itajaí, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 60, a seguir.

Detalhamento dos Custos - Cenários Sul

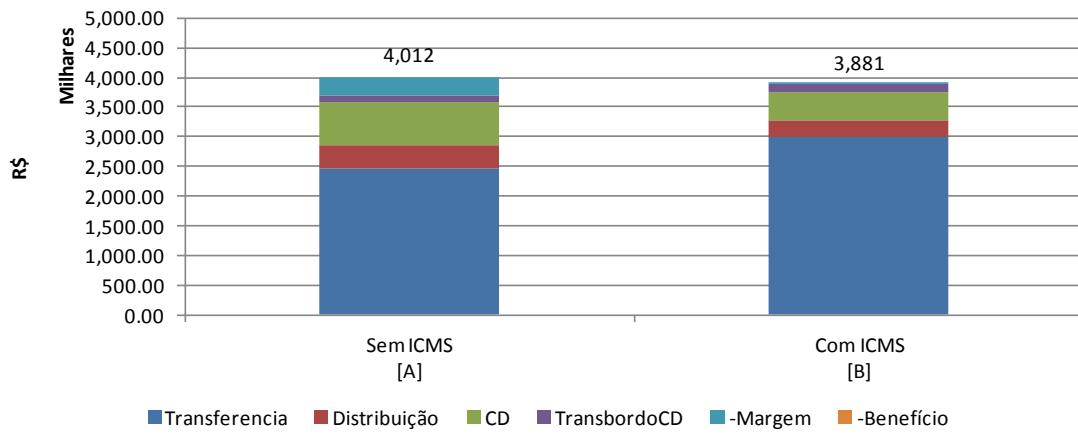


Figura 60 – Detalhe dos Custos dos Cenários do Caso NNE

Fonte: Autoria própria

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma formulação matemática que contemplasse aspectos fiscais no modelo de rede, incluindo a geração de crédito morto e os incentivos fiscais. Este objetivo foi alcançado, através da validação do modelo com o estudo de caso realizado, e da ampla análise de cenários logísticos e fiscais, que permitiram estudar a influência da inserção de crédito morto e dos incentivos fiscais nas redes estudadas. Uma das contribuições do trabalho foi o tratamento dado ao crédito morto gerado em determinadas operações, a formulação proposta não restringe a sua geração e a considera como um custo da operação.

Conforme o estudo realizado, pode-se concluir que os aspectos fiscais possuem importância no estudo de malhas logísticas, e que não podem ser desprezados. Por serem diretamente proporcionais ao valor da mercadoria transportada, podem se tornar decisivos na resposta final em determinados casos. Uma variável importante para ser estudada em casos futuros é o possível *markup* adicionado no armazém, que, dependendo de seu valor, pode fazer com que nenhum crédito morto seja gerado.

Além disso, as análises efetuadas sugerem que o estudo aprofundado de possibilidades de incentivos fiscais deve ser realizado sempre que possível, pois a oportunidade de ganhos pode ser decisiva na localização das instalações.

Isso tudo reforça o quanto o estudo detalhado pode trazer benefícios, e, inclusive, sinalizar discrepâncias no modelo operacional de nosso país. Utilizando-se de “turismos fiscais” agentes logísticos poderiam ganhar em tributos que seriam pagos ao estado, sem gerar valor neste transporte extra. Na realidade, são gerados prejuízos, pois são aumentados outros custos diretos e indiretos, como transporte, gasto das estradas, consumo de combustível e emissão de poluentes.

Como continuidade deste trabalho alguns pontos são sugeridos:

- Estudar a cadeia considerando *markup* no preço de saída do CD (considerando o CD como um elo independente dos clientes);

- Estudar outros cenários de benefícios fiscais;
- Estudar quais combinações de cenários de preço de compra, *markup*, e diferenças de alíquotas podem gerar o crédito morto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMMS. *AIMMS 3.7 Optimization Modeling User's Guide*, Paragon Decision Technology, 2006.

Ato das disposições Constitucionais Transitórias – Atos decorrentes do disposto no parágrafo 3º do art. 5º.

BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial*. 5ª edição, Ed Bookman, 2006.

BRANDEAU, M.L.; CHIU, S.S. *An overview of representative problems in location research*. Management Science, V35, n. 7, 1989.

GEOFFRION, A.M.; GRAVES, G.W. *Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition*. Management Science, Vol. 20, n. 5, 1974.

GEOFFRION, A.M.; POWERS, R.F. *Twenty Years of Strategic Distribution System Design: An Evolutionary Perspective*. Interfaces, Vol. 25, n. 5, 1995.

JUNQUEIRA, R.; MORABITO, R. *Um Modelo de Otimização Linear Para o Planejamento Agregado da Produção e Logística de Sementes de Milho*. Produção, v.16, n.3, p.510-525, 2006.

Lei Nº 5.172 de 25 de outubro de 1966.

Lei Complementar Nº 24, de 7 de janeiro de 1975.

Lei Complementar Nº 87, de 13 de setembro de 1996 (Lei Kandir).

LIMA, M. P. *Custos logísticos na economia brasileira*. Artigo de periódico. Revista Tecnológica, 2006, V1, consultado em 15/09/2011, e disponível em http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=695&Itemid=74.

MARTOS, A. *Projeto de Redes Logísticas com Consideração de Estoques e Modais*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, USP, 2000.

MELO, J. E. S. *ICMS, Teoria e Prática*. 10ª edição, São Paulo, 2008. Ed Dialética.

MELO M.T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA F. *Facility location and supply chain management – a review*. European Journal of Operational Research, Vol. 196, Issue 2, p.401–412, 2009.

NAZÁRIO, P. R. S. *Impactos Fiscais na Decisão de Localização de Instalações: Estudo de Caso*, Dissertação de Mestrado, COPPE-Produção, UFRJ, 2002.

PANTALENA, B.G. *Otimização da Malha Logística de uma Indústria Química*, Trabalho de Formatura, Escola Politécnica, USP, 2004.

QUEIROZ, I. S. *Planejamento de Redes Logísticas Considerando o Efeito do ICMS*, Dissertação de Mestrado, COPPEAD, 2011.

RECEITA FEDERAL, *Carga Tributária no Brasil – 2005. Estudos Tributários*, 2005.

Recurso em Mandato de Segurança Nº 31.714.

Resolução Nº 22, de 1989.

SILVA, M.B. *Otimização de redes de distribuição física considerando incentivo fiscal baseado no crédito presumido de ICMS*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, USP, 2007.

YOSHIZAKI, H. T. Y. *Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do imposto de circulação de mercadorias e serviços*. Tese de Livre-docência, Escola Politécnica, USP, 2002.

www.tecnologistica.com.br, consultado em 07/2011.

<http://www.fiscontex.com.br/legislacao/ICMS/aliquotainternaicms.htm>, consultado em 04/2012.

http://www.sefaz.pe.gov.br/sefaz2/outros/incentivos_fiscais.asp, consultado em 06/2012.

Anexo I – Alíquotas de ICMS

ORIGEM	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			
AC	17	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	17	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	17	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	17	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	17	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	17	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	17	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	17	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	17	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	17	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	17	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	17	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	18	7	7	12	7	7	7	7	12	7	7	12			
PA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	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	17	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	18	7	7	7	7	12	7	7	12			
PE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	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	17	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	17	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	7	17	7	7	12			
RJ	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	7	12	19	7	12			
RO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	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	17	12			
SC	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	7	12	7	7	17			
SP	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	7	12	7	7	12			
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			
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			