

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
SOROCABA

CINDY MARCELA LOBO RAMOS

**PLANEJAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE MEDICAMENTOS
CONSIDERANDO CUSTOS LOGÍSTICOS E DE ICMS**

Sorocaba
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
SOROCABA

CINDY MARCELA LOBO RAMOS

**PLANEJAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE MEDICAMENTOS
CONSIDERANDO CUSTOS LOGÍSTICOS E DE ICMS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.
Orientação: Profa. Dra. Eli Angela Vitor Toso
Financiamento: CAPES

Sorocaba
2019

Lobo Ramos, Cindy Marcela

PLANEJAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE
MEDICAMENTOS CONSIDERANDO CUSTOS LOGÍSTICOS E DE ICMS
/ Cindy Marcela Lobo Ramos. -- 2019.

64 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Eli Angela Vitor Toso

Banca examinadora: Antônio Augusto Chaves, Karim Pérez Martínez,
João Eduardo da Silva

Bibliografia

1. Localização de centros de distribuição.. 2. ICMS.. 3. Distribuição
Medicamentos.. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III.
Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Cindy Marcela Lobo Ramos, realizada em 28/11/2019:

Eli Angela V. Toso

Profa. Dra. Eli Angela Vitor Toso
UFSCar

Prof. Dr. Antônio Augusto Chaves
UNIFESP

Profa. Dra. Karim Yaneth Perez Martinez
UFSCar

João Eduardo Azevedo Ramos da Silva

Prof. Dr. João Eduardo Azevedo Ramos da Silva
UFSCar

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Antônio Augusto Chaves, Karim Yaneth Perez Martinez e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

Eli Angela V. Toso

Profa. Dra. Eli Angela Vitor Toso

DEDICATÓRIA

*A Deus e à Virgem Maria,
por me ajudar culminar este e todos os projetos da minha vida,
por seu infinito amor e misericórdia.*

*Aos meus pais, Aristides e Carmen,
por sempre acreditarem em mim, por ser minha motivação e por
seu inesgotável amor.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por me fortalecer nos momentos que eu não acreditei, por me cuidar como a filha dos seus olhos, por me fazer sentir confiança e fé da sua presença.

À Virgem Maria por sua intercepção e proteção! Por me guiar ao amor por Jesus.

A minha orientadora Eli, por conduzir meus passos neste projeto; obrigada pelo esforço, por sua confiança para finalizar nosso trabalho, pelo tempo dedicado e por acreditar.

Aos meus pais Aristides e Carmen, pelo amor, força e orações, foram de grão apoio para continuar e terminar! A vida não me alcança para agradecer ter vocês.

Ao Christian Camilo, pela companhia, amor, força e apoio incondicional! Muito obrigada por iniciar e terminar juntos esta etapa tão gratificante em nossas vidas.

Aos meus irmãos Eliana, Andrés Felipe, Carlos e Tere, meus cunhados Daniela e Pedro, meus sobrinhos Sara Salua, Andrés David, Juan David e Camila! Obrigada por seu amor, incentivo e por serem essa família que eu amo e sinto orgulho.

As minhas avós Delina e Esther, por seu lindo amor e orações por meus projetos.

Aos meus sogros Adalberto e Carmen, pelo apoio diário, amor, preocupações e incentivo.

Aos amigos que surgiram ao longo do mestrado; Juan, Oswaldo, Amanda, Natalia, Meire, Jorge, Aura, Hector, Andrés e demais amigos pelo apoio, carinho e bons momentos.

Aos brasileiros que abriram as portas das suas casas para me receber, Olivia, Mariane, Tevez, Elisa, Laurinha e o Cleiton; pela amizade, apoio, fizeram-me sentir em casa.

Aos meus irmãos de vida Merly, Juan Carlos, Neyla, Luz Elena, Carlitos Bula, Rosana, Juan Camilo e Diana; pelo apoio e incentivo.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Sorocaba por tudo o suporte e a disposição para me ajudar em questões administrativas durante o mestrado.

Aos membros da banca de avaliação, Prof. Chaves, Karim, Prof. João, que dedicaram seu tempo para a leitura e avaliação deste trabalho.

À CAPES-Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior, pela bolsa de mestrado, sem a qual não teria sido possível realizar este trabalho.

Muito obrigada a todos!

RESUMO

LOBO, Cindy. Planejamento da Rede de Distribuição de Medicamentos Considerando Custos Logísticos e de ICMS. 2019. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019.

O planejamento da distribuição de medicamentos no Brasil envolve decisões de configuração da rede logística, principalmente decisões sobre a localização de centros de distribuição (CDs) e fluxo de produtos entre plantas, CDs e clientes. Os desafios deste planejamento estão relacionados às características dos produtos, que possuem alta diversidade em relação às características físicas (peso e volume), padrões de demanda e alto valor agregado dos produtos. Uma questão particularmente importante para a distribuição de produtos no Brasil é o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Este imposto depende do valor agregado dos produtos e o pode afetar significativamente o planejamento da rede de distribuição. Isto porque trata-se de um imposto não cumulativo, com tarifas que variam por estado e que resulta em uma estrutura diferenciada de tributação ao longo das etapas da cadeia de produção. Neste trabalho foi utilizado um modelo de otimização para o planejamento da abertura de CDs e alocação de clientes a estes CDs, considerando os custos de transporte, produtos de diferentes valores, as alíquotas intraestaduais e interestaduais e o benefício fiscal de crédito presumido, oferecido por alguns estados. O estudo é baseado em dados de um caso real, obtidos em estudo anterior. Os resultados do modelo com este conjunto de dados foram analisados criteriosamente para compreender as relações entre os custos logísticos e os custos de tributação para cada região/estado. Alguns resultados do modelo comportaram-se conforme esperado. Em geral a alocação dos produtos de menor valor agregado e maior peso depende mais dos custos logísticos, enquanto a alocação dos produtos de maior valor agregado e menor peso é mais influenciada pelos custos tributários. No entanto, uma avaliação detalhada da relação entre os custos desmistifica a vantagem dos benefícios fiscais, principalmente para produtos em que os custos unitários de transporte são maiores que os custos unitários de ICMS.

Palavras-chave: Localização de centros de distribuição; ICMS; Distribuição Medicamentos.

ABSTRACT

Medicines distribution planning in Brazil involves decisions of logistics network configuration, related to the location of distribution centers (DCs) and product flow among facilities. Medicines distribution planning in Brazil faces some challenges, due to medicines have many different characteristics, concerning to physical attributes (weight and volume), demand patterns and high value-added of the products. Other relevant issue is the Tax on Circulation of Goods and Services (ICMS). This tax depends on the value-added of the products and can significantly affect the distribution network planning. The ICMS is a non-cumulative tax, with rates that vary among states and results in a differentiated tax structure along the supply chain. In this work, we proposed an optimization model to support decisions of DCs location and the customer demand allocation to these DCs. We considered transportation costs, products of different values, interstate and intrastate rates and the matching credit (a tax benefit) offered by some Brazilian States. We used real data from a previous study and analyzed the solutions model to understand the relationships between logistics costs and taxation costs for each region/state. The allocation of lower value-added products depends more on logistics costs, while the allocation of higher value-added products is determine by the tax costs. However, a detailed assessment of the relationship between costs demystifies the advantage of tax benefits, especially for products where unit transport costs are higher than ICMS unit costs.

Keywords: Distribution center location; ICMS; Medicines distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo: Rede de suprimentos.	17
Figura 2 - Arrecadação de impostos estaduais no Brasil 2010 – 2018 (%).	26
Figura 3 - Arrecadação tributária por Estados 2010 – 2018.	27
Figura 4 – Créditos e débitos no cálculo de ICMS.	28
Figura 5 - Mapa com os pontos da rede de distribuição.	41
Figura 6 - Decisões de abertura e demanda das regiões atendidas por cada CD.	43
Figura 7 - ICMS pago em cada etapa.	44
Figura 8 - Custos unitários de frete (a) e de ICMS (b) por produto desde o CD de São Paulo	47
Figura 9 - Custos unitários de frete (a) e de ICMS (b) por produto desde o CD de Goiânia.	48
Figura 10 - Agrupamentos por características de peso e preço dos produtos.	49
Figura 11 - Resultados da alocação aos CDs por categoria.	50
Figura 12 - Combinação entre tarifas planta-CD e CD-clientes.	56
Figura 13 - Custos totais da Função objetivo dos cenários.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos modelos de localização de CDs com ICMS.	24
Tabela 2 – Alíquotas de ICMS dos estados.	29
Tabela 3 - Exemplos numéricos com variação de alíquotas e valor agregado.	31
Tabela 4 - Demanda, preço e peso por produto.	41
Tabela 5 - Custo fixo de abertura (\$).	42
Tabela 6 - Tarifas de frete entre os estados no Brasil.	42
Tabela 7 - Comparação entre os custos da rede atual e a rede do modelo.	45
Tabela 8 - Produtos por agrupamento com preço e peso.	50
Tabela 9 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 1	51
Tabela 10 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 2.....	52
Tabela 11 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 3.....	52
Tabela 12 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 4.....	53
Tabela 13 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 5.....	53
Tabela 14 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 6.....	54
Tabela 15 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 7.....	55
Tabela 16 - Cenários de ICMS (variação de taxas na transferência e venda).....	57
Tabela 17 - Cálculo do ICMS por CD dos cenários.	58
Tabela 18 - % de custos tributários e logísticos nos diversos cenários.	60

LISTA DE SIGLAS

CDs	Centro (s) de distribuição
ACI	Interior do estado de Acre
ALC	Capital do estado de Alagoas
AMC	Capital do estado de Amazonas
BAC	Capital do estado de Bahia
BAI	Interior do estado de Bahia
CEC	Capital do estado de Ceará
CEI	Interior do estado de Ceará
DFC	Capital do estado de Distrito Federal
ESC	Capital do estado de Espírito Santo
ESI	Interior do estado de Espírito Santo
GOC	Capital do estado de Goiás
GOI	Interior do estado de Goiás
MGC	Capital do estado de Minas Gerais
MSC	Capital do estado de Mato Grosso do Sul
MTC	Capital do estado de Mato Grosso
PAC	Capital do estado de Pará
PAI	Interior do estado de Pará
PBI	Interior do estado de Paraíba
PEC	Capital do estado de Pernambuco
PEI	Interior do estado de Pernambuco
PIC	Capital do estado de Piauí
PRC	Capital do estado de Paraná
PRI	Interior do estado de Paraná
RJC	Capital do estado de Rio de Janeiro
RJI	Interior do estado de Rio de Janeiro
RNC	Capital do estado de Rio Grande do Norte
ROC	Capital do estado de Rondônia
ROI	Interior do estado de Rondônia
RRC	Capital do estado de Roraima
RSC	Capital do estado de Rio Grande do Sul
RSI	Interior do estado de Rio Grande do Sul
SCC	Capital do estado de Santa Catarina
SCI	Interior do estado de Santa Catarina
SPC	Capital do estado de São Paulo
SPI	Interior do estado de São Paulo
TOC	Capital do estado de Tocantins

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 METODOLOGIA	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO	16
2.2 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO COM ICMS	18
2.3 CONCLUSÕES DA REVISÃO DE LITERATURA.....	24
3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	26
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS DE ICMS NO BRASIL.....	26
3.2 FORMA DE CÁLCULO E ESTRUTURA DE TRIBUTAÇÃO.....	27
3.3 OBJETO DE ESTUDO E DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	32
4 MODELAGEM MATEMÁTICA	35
5 TESTES COMPUTACIONAIS	40
5.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS	40
5.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO	43
5.3 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE CUSTOS E ALOCAÇÃO	46
5.3.1 Agrupamento de produtos	46
5.3.2 Análise de atendimento por categoria de produto e zona de frete	51
5.4 AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE ICMS	55
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

É inegável a importância do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para o crescimento financeiro dos estados Brasileiros. De acordo com o Conselho Nacional de Política Fazendária, entre os anos 2010-2018 o ICMS representou 91% da arrecadação tributária total estadual, que também é composta pelo IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores) e ITCD (Imposto sobre Transmissão Causa Mortis e Doações) (CONFAZ, 2019). Em outras estatísticas, na arrecadação por categoria de produção e circulação, formada por impostos estaduais como o ICMS e o Imposto Sobre Serviços (ISS) e federais como o Imposto sobre Operações Financeiras (IOF) e o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), até o presente momento em 2019, o montante arrecadado de ICMS corresponde a 73% do total, enquanto o montante arrecadado com IOF, IPI e ISS corresponde a 5%, 10% e 12%, respectivamente (FACESP; ACSP; IBPT, 2019).

O ICMS é um imposto não cumulativo que incide sobre o valor agregado em cada etapa da cadeia de produção. Na estrutura deste imposto no Brasil, prevalece o princípio de tributação no estado de origem, o que pode resultar em diferenças no valor total a ser pago dependendo das alíquotas de origem-destino.

As alíquotas para tributação interestadual e intraestadual são definidas para cada tipo de produto e variam entre os diferentes estados. Como resultado, os custos de ICMS em uma operação de distribuição podem variar dependendo da localização dos centros de distribuição (CDs). Em algumas redes de distribuição, localizar o CD em determinado estado pode implicar em uma redução de custos de tributação mesmo com aumento nos custos de transporte, por exemplo. Neste contexto, é importante que os custos de ICMS sejam considerados no planejamento das redes de distribuição, particularmente em problemas de localização de CDs.

Uma busca na literatura mostra que trabalhos que investigam o problema de localização de centros de distribuição com inserção da estrutura de alíquotas internas e interestaduais do ICMS, tem sido objeto de estudo nas últimas duas décadas. Começando com o trabalho de Yoshizaki (2002) que foi um dos primeiros a abordar o impacto fiscal, considerando o ICMS como um componente de custo estratégico na configuração de uma rede de distribuição. O autor aborda o problema de localização com a utilização das taxas do

ICMS nas operações de transferência e venda em um problema padrão, onde quatro indústrias têm sua distribuição conjunta coordenada por um único operador logístico para obtenção de economias de escala.

Outros trabalhos que abordaram o ICMS no planejamento de redes logísticas foram Pantalena (2004), Hamad (2006), Da Silva (2007), Carraro (2009), Cunha (2008), Hamad (2014) e Jalal (2017). Na pesquisa de Pantalena (2004) e Hamad (2006) abordaram o planejamento da rede de distribuição de uma indústria química, considerando tanto a demanda atual como previsões de crescimento para períodos futuros. Da Silva (2007) e Carraro (2009) abordaram o problema em uma indústria bens de consumo não duráveis, considerando o benefício fiscal do crédito presumido de ICMS concedido por alguns estados para localizar CDs. Cunha (2008) apresentou estudo de casos múltiplos, baseado na observação e descrição de processos cronológicos para analisar as questões tributárias sobre localização de CDs. Hamad (2014) aborda o problema em grandes empresas transnacionais do segmento agrícola e mostra que o planejamento tributário é o fator mais significativo na minimização dos custos envolvidos na configuração da rede logística. O trabalho de Jalal (2017) aborda a localização de CDs em uma rede de distribuição de medicamentos, considerando decisões mais detalhadas de transporte, tais como tipo de frete e veículos, limites de seguro e uso de escolta e entrega antecipada.

O trabalho de Jalal (2017) despertou interesse para esta pesquisa uma vez que os resultados destacaram a importante participação do ICMS no custo total da rede, alertando sobre a importância da política fiscal dos estados por seu potencial impacto nas redes de distribuição da indústria farmacêutica. No entanto, devido à complexidade das decisões envolvidas os resultados do modelo inviabilizam a análise entre a relação entre os custos logísticos e os custos tributários.

O foco desta pesquisa é a avaliação das relações entre os custos logísticos, principalmente os custos de transporte, e os custos de tributação de ICMS no planejamento de redes de distribuição de medicamentos. Os custos de transporte dependem da distância entre origem-destino e do peso/volume dos produtos. Os custos de ICMS dependem das alíquotas origem-destino e do valor do produto em cada operação (planta-CD e CD-clientes). Para conduzir esta análise foi utilizado um modelo de otimização para a localização de CDs e alocação de clientes aos mesmos. O modelo é uma simplificação e adaptação de modelos

da literatura, particularmente do modelo de programação linear inteira mista desenvolvido por Jalal (2017). As decisões de transporte foram simplificadas, considerando-se apenas uma alternativa de frete com custos por distância e quantidade transportada. Como o escopo de avaliação das decisões é estratégico, também foram desconsideradas restrições de capacidade de veículos, limites de seguro, escolta, decisões de antecipação da demanda e outras relacionadas com o nível de planejamento tático. A adaptação feita no modelo é a possibilidade de utilização do crédito presumido em substituição ao creditamento das operações anteriores.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a relação entre custos logísticos (custos fixos, custos de transporte entre as etapas da rede), valor agregado (valor dos produtos na operação de transferência e preço de venda dos produtos), alíquotas (taxas de ICMS: na operação de transferência, venda e importação) e benefícios fiscais (crédito presumido de ICMS) na configuração de redes de distribuição. Particularmente, esta pesquisa investiga o impacto destes parâmetros nas decisões de localização de centros de distribuição de uma empresa do setor farmacêutico.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Avaliar a influência do ICMS no planejamento da rede de distribuição física, especificamente na localização de centros de distribuição;
- Estabelecer intervalos ou proporções dos custos de frete, valor agregado e custos tributários para analisar o comportamento da rede;
- Analisar diferentes cenários fiscais.

1.2 METODOLOGIA

Para avaliar a relação entre os custos logísticos e os custos tributários utiliza-se um modelo de otimização que busca minimizar os custos totais de localização de CDs, custos de transporte e custos de ICMS. O estudo usa dados de uma empresa farmacêutica que importa, produz e distribui medicamentos no Brasil. O modelo considera um contexto mono período e multiproduto com restrições de atendimento de toda demanda sem atrasos.

Para compreender o problema, inicialmente foram observados os resultados do modelo para o problema da distribuição de medicamentos, analisando detalhadamente a influência dos custos de transporte e custos de ICMS para diferentes grupos de produto. Para viabilizar a análise os produtos foram agrupados utilizando os valores de custos unitários de transporte e os custos unitários de ICMS para cada origem-destino. Nos custos de transporte estão implícitos: distâncias e acesso, utilizando valores de frete por zona (origem-destino) e peso dos produtos. Nos custos tributários são considerados o valor dos produtos na operação de transferência (planta-CD), que correspondem aos custos, e o valor dos produtos na operação de venda (CD-clientes), que corresponde aos preços. Nos custos tributários ainda são considerados as alíquotas de ICMS vigentes, que variam de acordo com origem-destino.

Na função objetivo e nas restrições do modelo os custos tributários são calculados pela fórmula do ICMS, que envolve o valor dos produtos e alíquotas de ICMS. O imposto possui uma estrutura de débitos e créditos que possibilita que seu pagamento possa ser descontado nas etapas seguintes da rede de distribuição.

A partir destas premissas iniciais foram testadas as seguintes situações: o aumento e a redução dos custos totais da rede de distribuição e a influência nos fluxos dos produtos variando os termos da função objetivo (f.o.) que correspondem aos custos logísticos e tributários. Nesses testes, observou-se as características dos clientes atendidos pelos CDs, analisou-se as características dos CDs que atendem clientes dentro do mesmo estado, avaliou-se o impacto que tem o valor agregado dos produtos e identificou-se as situações em que o planejamento tributário influencia o planejamento logístico e vice-versa.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: o Capítulo 1 compreende a introdução; o Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica dos principais trabalhos encontrados na literatura que aborda modelos de localização para o planejamento de redes de distribuição assim como modelos de localização que consideram o ICMS; o Capítulo 3 apresenta a contextualização e descrição do problema considerado neste trabalho; o Capítulo 4 apresenta a formulação matemática utilizada para a execução dos testes; o Capítulo 5 expõe os dados utilizados e os testes computacionais realizados; o Capítulo 6 apresenta as considerações finais e perspectivas futuras de pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo é dedicado a apresentar e discutir conceitos relevantes para o tema desta pesquisa bem como uma revisão da literatura sobre estes temas. Desta forma, o capítulo apresenta uma revisão dos modelos de localização para o planejamento de redes de distribuição, de modelos de localização com ICMS e uma revisão de outros trabalhos que consideram impostos no planejamento de redes logísticas.

2.1 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO

O problema de localização é mais abrangente do que determinar apenas a localização de instalações, como postos de saúde, escolas ou fábricas. Do ponto de vista da logística, outros aspectos costumam ser expostos, como: quantidade de produtos transportados, capacidade, funcionalidade, fontes de abastecimento e regiões de atendimento (PIZZOLATO; RAUPP; ALZAMORA, 2012).

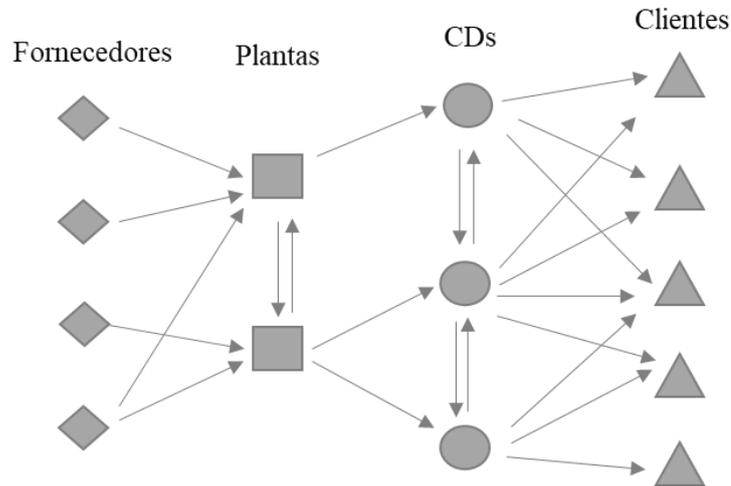
O trabalho de Klose e Drexl (2005) apresenta uma revisão da literatura contemplando tipos de modelos relacionados com a topografia das plantas candidatas em modelos de localização de rede, modelos de programação de localização discreta ou inteira mista, modelos sem restrições de capacidade e modelos de estágio único.

Outros trabalhos de revisão, como Ambrosino e Scutell (2005) abordam problemas de localização que envolvem não só a localização de instalações, mas também decisões de armazenamento, transporte e estoque. Melo, Nickel e Saldanha-Da-Gama (2009) identificaram quatro características que poderiam ser inseridas neste tipo de planejamento estratégico: instalações multicamada; mono ou multiproduto; mono ou multiperíodo; e parâmetros estocásticos ou determinísticos.

Segundo Ambrosino e Scutell (2005) o contexto geral é otimizar os fluxos das mercadorias e melhorar a configuração da rede, a fim de satisfazer os objetivos de cada empresa com a minimização dos custos totais e atender a um conjunto de clientes distribuídos em uma área por possíveis conjuntos de instalações, como se observa na Figura 1. São considerados componentes como CDs, ligações entre CDs e origens/destinos das mercadorias e as magnitudes dos fluxos em cada operação; além de características como

quantidade de CDs na rede, nós possíveis para localização de novos CDs, fluxo de carga das operações entre fornecedores, plantas, CDs e clientes (VALLIM FILHO, 2004).

Figura 1 - Exemplo: Rede de suprimentos.



Fonte: Melo; Nickel; Saldanha-Da-Gama (2009).

Trabalhos aplicados em localização de centros de distribuição têm sido implementados em diferentes áreas e situações. Como exemplos temos Bandeira (2006), Guazzelli e Da Cunha (2014) e Guazzelli e Cunha (2015). Bandeira (2006) abordou o problema em um caso prático para uma empresa de suprimentos industriais, propondo um modelo de localização para múltiplas instalações que é resolvido por um algoritmo baseado em programação linear inteira mista. Guazzelli e Da Cunha (2014) implementaram um problema de programação linear-inteira mista em uma indústria de alimentos na América Latina. Guazzelli e Cunha (2015) formularam um modelo de programação linear-inteira mista para a localização de centros de distribuição na região Nordeste do Brasil para uma indústria cuja produção está em um lugar pouco acessível.

Estes trabalhos têm como objetivo geral a determinação dos melhores locais para os centros de distribuição de modo a minimizar os custos totais da operação. Adicionalmente, Guazzelli e Cunha (2015) procuram obter tipos de modal para seu abastecimento. Bandeira (2006) pesquisa o estabelecimento da capacidade dos CDs, alocação de clientes e fornecedores aos CDs e que tipo de famílias devem ser estocadas em cada CD. No estudo de

Guazzelli e Da Cunha (2014) deseja-se encontrar tamanhos ideais para os CDs e fluxos de transporte ótimo entre as operações.

Os resultados destes modelos, em termos gerais, permitiram uma ótima configuração da rede, que possibilitou a redução dos custos totais de distribuição. É importante mencionar que toda a operação de transporte e distribuição dos produtos estará condicionada a essa configuração a partir da definição do posicionamento das instalações e dos fluxos de produtos (BANDEIRA, 2006).

Em geral, as pesquisas de localização de instalações ou centros de distribuição abordam decisões estratégicas como: número de CDs a abrir, localização dos CDs, capacidades dos mesmos e distribuição das plantas e clientes a cada instalação (BANDEIRA, 2006). Essas decisões são influenciadas por fatores políticos, macroeconômicos, estratégicos, tecnológicos, competitivos, logísticos, operacionais e de infraestrutura (CHOPRA; MEINDL, 2006).

Contudo, poucos trabalhos estudam a influência de fatores tributários e especificamente do ICMS. Sendo assim, na próxima seção são revisados alguns modelos de localização de centros de distribuição com inserção do ICMS, buscando compreender a estrutura deste tributo e seu impacto no planejamento das redes de distribuição.

2.2 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO COM ICMS

Nesta seção, é possível observar como outros pesquisadores incluíram o ICMS no planejamento da rede logística, considerando os custos dos produtos e preços de venda, alíquotas intraestaduais e interestaduais, fluxo de produtos transportados, entre outros aspectos nestes trabalhos. São analisadas as considerações e diferenciadores do uso destas alíquotas nos custos totais envolvidos na configuração de uma rede logística.

O trabalho de Yoshizaki (2002) foi pioneiro na inserção do ICMS no planejamento de redes logísticas. Neste trabalho o autor considera a estrutura do ICMS em um projeto de localização de centros de distribuição para uma indústria de bens de consumo. O autor desenvolve um modelo de Programação Linear Inteira Mista (MIP) que busca determinar a relação entre o custo de transporte e do débito de ICMS como um custo variável. A pesquisa

estrutura o ICMS como um custo variável que depende do produto transportado desde uma origem até um destino, considerando a relação estreita entre as decisões tributárias e logísticas. Assim, a participação dos tributos do ICMS no modelo foi representada com:

- Fator de indicação do nível de tributação, que gera possibilidade de sonegação (quando todo o sistema sonega e quando o sistema paga 100% do ICMS).
- Taxas de ICMS entre as operações de transferência e venda usadas para calcular e penalizar o planejamento tributário na f.o., dependendo do nível de tributação e do planejamento logístico.

O autor afirma que quando o cliente é indiferente ao crédito do ICMS, que pode sonegar, o objetivo da empresa é procurar o fluxo mais favorável entre o custo tributário e logístico. Assim, analisar os *trade-offs* deste custo variável mostrou que à medida que a sonegação de imposto aumenta, a rede logística com a estrutura do ICMS sofre mudanças significativas. Além disso, é possível encontrar um ponto de inflexão nos comportamentos dos custos totais nos valores próximos do preço zero. Nesse caso a influência do ICMS seria nula.

O trabalho de Pantalena (2004) apresenta um modelo para o planejamento logístico de uma indústria química com o objetivo de determinar a localização de centros de distribuição e quantidade destes CDs, considerando custos logísticos e de ICMS na implementação de um modelo MIP. Para reduzir o montante de crédito morto gerado pela configuração da rede atual, ainda considera regulamentações especiais: quando os CDs existentes realizam o atendimento da demanda dentro de seu estado tem uma alíquota de 0%; quando as vendas ocorrem entre estados tem uma redução de 60% na base do cálculo.

Assim, o modelo tem como objetivo localizar os centros de distribuição contemplando:

- Penalização dos custos do planejamento logístico na f.o. nas operações de transferência e venda, incluindo o frete e o custo de transbordo no CD.
- O planejamento tributário na f.o. considerando o débito final de ICMS a ser pago em cada um dos CD da empresa (valor de ICMS pago na operação de venda subtraído do valor pago na operação de transferência). Esse planejamento é sujeito a duas restrições: (a) a geração de crédito morto deve ser evitada, o crédito morto ocorre quando o valor pago de ICMS na operação de transferência é maior que o pago na

venda nos CDs fora de SP; (b) a geração de débito de ICMS a ser pago em SP deve ser evitada.

Neste trabalho de Pantalena (2004) os resultados obtidos, quando comparados com a situação da empresa, mostram que a configuração atual da rede é inadequada, pois quando penalizados os custos tributários-logísticos, os CDs existentes tornam-se os geradores de crédito morto. Em geral, é possível perceber a importância da inserção do ICMS associado com o planejamento logístico para uma ótima configuração da rede da empresa no país.

Hamad (2006) propôs um modelo MIP para minimizar os custos logísticos e custos tributários dentro de uma indústria química com o fim de resolver o problema de localização de suas instalações por meio de um *software* de domínio público como ferramenta de apoio para os desenhos de rede logística. Como um fator diferenciador dos outros trabalhos para configuração de rede logística, este trabalho considera 4 camadas da rede na modelagem. A primeira camada pode corresponder a fábricas próprias ou fornecedores de matéria prima. A segunda camada corresponde a planta de fabricação de produtos intermediários. A terceira camada está relacionada com as plantas de produto acabado. E a última camada representa os mercados consumidores. Caso existam CDs entre fábricas, a terceira camada passa a ser um centro de distribuição e a segunda camada passa a ser a fábrica de produto acabado. Além do ICMS, foram penalizados na f.o. e considerados nas restrições outros tributos como: IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados), PIS/COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social), benefícios fiscais em transferências internacionais como o *drawback* (benefício aduaneiro federal). Assim, estes fatores foram apresentados da seguinte forma:

- Custos de impostos que incidem na operação de transferência da matéria prima.
- Custos tributários que interferem na transferência do produto intermediário.
- Custos referentes aos tributos que incidem na venda dos produtos acabados.
- O benefício fiscal de *drawback* foi representado no modelo em uma restrição que considera que a quantidade dos produtos enviados para os mercados que ficam no exterior deverá ser maior ou igual às importações de matéria prima transferidos nas operações anteriores.

A aplicação do modelo proposto por Hamad (2006) a um caso real, obteve resultados favoráveis, demonstrando ser uma ferramenta útil para a tomada de decisões para localização de instalações, com contribuições de inclusão de benefícios fiscais, custos logísticos relacionados ao fornecimento de matéria prima, tratamento de custos de inventário e maior importância aos impostos que cada vez tem maior impacto em uma rede logística.

Da Silva (2007) propôs um modelo matemático buscando determinar quantidade, localização, área de cobertura dos CDs e fluxo ótimo para o atendimento de mercados consumidores com a influência de incentivos fiscais relacionados ao ICMS e custos logísticos (transporte, armazenagem) envolvendo a busca de *trade-offs* entre estes custos. Foi utilizado um modelo MIP para minimizar os custos totais de uma indústria que produz e comercializa bens de consumo não duráveis. O modelo considera que o ICMS que incide sobre as operações de venda é repassado para os consumidores finais. Assim, a participação dos tributos do ICMS no modelo foi representada com a seguinte estrutura:

- Nos custos da função objetivo é subtraído o benefício fiscal dos CDs.
- Restrição conforme a estrutura do cálculo do ICMS, que garante que o pagamento do ICMS seja nulo ou positivo, porém evitando a geração do crédito morto.
- Restrição de saldo a pagar do ICMS contemplando o crédito presumido do ICMS (alíquota de benefício fiscal do CD) para redução do pagamento do ICMS.

Como resultados desta pesquisa, Da Silva (2007) observa que os incentivos fiscais baseados no crédito presumido do ICMS exercem um forte impacto na configuração da rede logística. Os *trade-offs* identificados demonstraram que integrar os planejamentos logístico e tributário é importante para a otimização da rede.

A pesquisa de Cunha (2008) analisa a questão tributária da teoria sobre localização de centros de distribuição e discute esse tema sob a visão do ICMS. A metodologia empregada foi a de estudo de casos múltiplos, baseado na observação e descrição de processos de decisão reais, com o suporte de um roteiro de questões para a realização das entrevistas com os responsáveis pela gestão de distribuição. O resultado mostra que os custos do ICMS apresentam custos superiores à soma dos demais custos logísticos (transporte, armazenagem, custo capital). Este resultado alerta para situações gerais deste tipo de pesquisa que tomam decisões sobre a melhor configuração da localização de centros de distribuição.

Carraro (2009) apresenta um problema de MIP, para identificar *trade-offs* entre os custos logísticos, incentivos fiscais do ICMS e com as variações das emissões de carbono geradas nos problemas de localização de fábricas e centros de distribuição. Em relação à estrutura tributária, na função objetivo que busca a minimização dos custos totais da rede é contemplado o ganho fiscal recebido pelos CDs. Além disso, nas restrições foi penalizado o saldo a pagar do ICMS (restrito a valores nulos ou positivos para evitar a geração do crédito morto) com a redução do benefício fiscal. Como resultado, conclui-se que o benefício do crédito presumido de ICMS tem alto impacto nas decisões de localização de centros de distribuição. Então, os custos referentes ao carbono não afetam o resultado do modelo, quando incrementadas as emissões de carbono e o fluxo dos veículos.

A pesquisa de Jalal (2017) propõe um modelo para o planejamento de rede de distribuição de medicamentos para integrar decisões relacionadas à localização de CDs e decisões táticas de definição de fluxos e alternativas de transporte. Em relação ao ICMS, contempla não só as alíquotas de ICMS, mas também o oferecimento de benefício de crédito presumido por parte dos estados onde ficam os CDs, que influencia nas decisões de escolha dos locais para os centros de distribuição. No modelo, os impostos e benefícios fiscais são incluídos tanto na função objetivo como nas restrições. Os fatores tributários podem ser descritos da seguinte forma:

- Na função objetivo é penalizado o total a pagar e o crédito morto do ICMS.
- Nas restrições é calculado o valor do ICMS a ser pago pelos CDs subtraindo o valor do benefício fiscal.

Nos resultados do estudo de Jalal (2017), destaca-se a importante participação do ICMS no custo total da rede, de forma que a otimização da rede é dominada pelos fluxos de produtos para reduzir o custo de ICMS a pagar. Desta forma, as empresas do setor farmacêutico e as demais empresas que distribuem produtos no Brasil devem-se manter atentas à política fiscal dos estados, já que ela pode impactar significativamente os custos da rede logística.

No geral, a literatura internacional sobre a consideração de impostos nos problemas de configuração de redes de distribuição é bastante escassa. Isso pode ser explicado pela diversidade entre os sistemas de tributação nos diferentes países. Particularmente em relação a impostos sobre valor agregado, o trabalho de Avittathur, Shah e Gupta (2005) destaca-se

por apresentar algumas similaridades com os trabalhos considerando ICMS no Brasil. Estes autores consideram a estrutura tributária das redes de distribuição logísticas na Índia. O trabalho explica a estrutura do imposto sobre vendas central, ou da sigla em inglês CST (*The central sales tax*), com a contribuição de uma modelagem matemática para melhorar as decisões da rede de distribuição que criam ineficiências logísticas nas empresas que operam nesse país.

O CST é uma tarifa aplicável ao comércio interestadual que é pago quando a transferência de mercadorias não ocorre no mesmo estado ou território. Em outras palavras, quando um fabricante localizado no estado A distribui diretamente as mercadorias para um cliente no estado B, este movimento gera o CST e um imposto local sobre vendas do estado B, contudo, se o fabricante distribui mercadorias para o mesmo cliente a partir de seu próprio CD localizado no estado B, apenas o imposto local sobre vendas do estado B deve ser pago.

Com a formulação de um modelo de otimização, a pesquisa de Avittathur, Shah e Gupta (2005) busca a localização dos centros de distribuição, contemplando custos fixos de instalação e operação, custo médio de estoque como estoque de segurança no CD, custo médio de estoque em trânsito entre o CD e custo de imposto sobre vendas adicional, que deve ser considerado quando um CD atende a pontos de demanda diferentes daquele em que está localizado.

Simulações com CST de 4% e 10% mostram que é econômico localizar CDs em todos os pontos de demanda, independentemente da demanda atendida. Contudo, é possível fazer um comparativo entre estas duas estruturas (Brasil - Índia) dos impostos ICMS e CST aplicados na circulação de mercadorias nesses países, assim: O CST é pago quando a transferência de produtos Fábrica-CD não ocorre no mesmo estado; quando é pago se realiza na origem; as alíquotas mais usadas são 4% e 10% e nos resultados da pesquisa se observa que impacta as decisões dos planejamentos logísticos. O ICMS sempre é pago nas transferências e inclusive quando ocorrem dentro do mesmo estado, as alíquotas são mais altas; é pago na origem o que pode gerar um saldo a pagar ou crédito morto no destino; as alíquotas são estabelecidas pelos estados a partir de 7%.

2.3 CONCLUSÕES DA REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura do problema de localização para o planejamento de redes de distribuição, mostra que os principais custos estão relacionados com as decisões de localização, armazenamento, transporte e estoque. Mas quando o ICMS é considerado no planejamento de redes logísticas, os custos deste imposto superam os demais custos logísticos.

Em todos os trabalhos encontrados na literatura que propõem modelos para o planejamento de rede logística com ICMS, consideram que o ICMS é cobrado na etapa de transferência (planta – CD) e na etapa de venda (CD – cliente). Exceto pelo modelo de Jalal (2017), todos os trabalhos consideram restrições de capacidade nos CDs.

A Tabela 1 apresenta algumas características que diferenciam as pesquisas sobre o problema de localização de centros de distribuição com ICMS.

Tabela 1 - Características dos modelos de localização de CDs com ICMS.

Artigo	ICMS		Benefício Fiscal		Diferenciais
	F.O.	Restrições	F.O.	Restrições	
Yoshizaki (2002)	x				Considera possibilidade de sonegação
Pantalena (2004)	x	x			Regulamentações especiais nas alíquotas
Hamad (2006)	x			x	Consideração de outros impostos
Da Silva (2007)		x	x	x	
Carraro (2009)		x	x	x	Questões de sustentabilidade
Jalal (2017)	x	x		x	Não considera restrições de capacidade

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observe na Tabela 1 que a maior parte dos trabalhos consideram os custos de ICMS na função objetivo e incluem restrições para o cálculo dos valores entre as etapas de venda e transferência. Exceto pelo trabalho de Jalal (2017) e Pantalena (2004) os demais garantem que o pagamento do ICMS seja nulo ou positivo evitando o crédito morto. Especificamente, os trabalhos de Da Silva (2007), Carraro (2009) e Jalal (2017) contemplam na configuração da rede logísticas o benefício do crédito presumido de ICMS.

Entre os trabalhos revisados na Tabela 1, um aspecto diferenciador é a possibilidade de sonegação de imposto, que é considerada apenas no trabalho de Yoshizaki (2002). Algumas regulamentações especiais de redução das alíquotas são consideradas na pesquisa de Pantalena (2004). O fator diferenciador na pesquisa de Carraro (2009) é a inclusão de fatores ambientais. Em Hamad (2006) são considerados outros tributos nacionais como IPI, PIS/COFINS além de benefícios internacionais como o *drawback*.

Os trabalhos revisados propõem modelos que incorporam os custos de ICMS em diferentes contextos de aplicação prática e mostram que os custos de tributação são decisivos para as decisões de localização de CDs. Neste trabalho o foco é avaliar mais detalhadamente a relação entre o valor agregado dos produtos e os custos de transporte, bem como o comportamento da solução mediante cenários de variação das alíquotas e benefícios fiscais.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

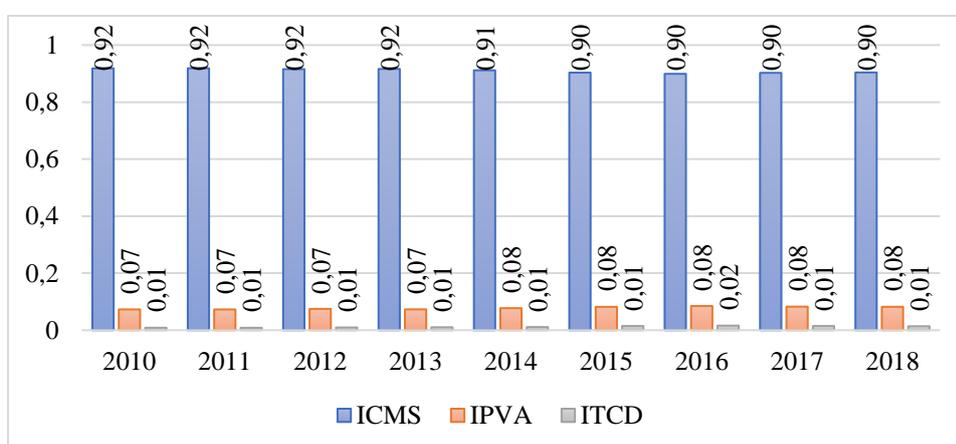
Este capítulo apresenta o impacto do ICMS no total da arrecadação tributária, bem como as formas de cálculo entre as etapas da cadeia de produção. O capítulo descreve a influência do ICMS no planejamento da distribuição da indústria farmacêutica e as delimitações desta pesquisa.

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS DE ICMS NO BRASIL

Com a incorporação do ICMS na Constituição federal de 1988, observa-se que a maior modificação foi a concessão da autonomia aos estados para a fixação das alíquotas internas de ICMS. Desse modo, cada estado passou a estabelecer suas próprias regras de tributação. O ICMS é um imposto não cumulativo, com estrutura de débitos e créditos que possibilita que seu pagamento possa ser descontado nas etapas seguintes da rede de distribuição.

Este imposto tem maior impacto na estrutura tributária do país, como pode ser observado na Figura 2, que apresenta uma comparação percentual entre a arrecadação de ICMS com outros impostos estaduais composta pelo Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) e Imposto sobre Transmissão Causa Mortis e Doações (ITCD). Conforme os dados do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), o ICMS representou 91% da arrecadação tributária total estadual entre os anos de 2010 e 2018. Estes dados evidenciam a relevância do ICMS para a geração das receitas estaduais.

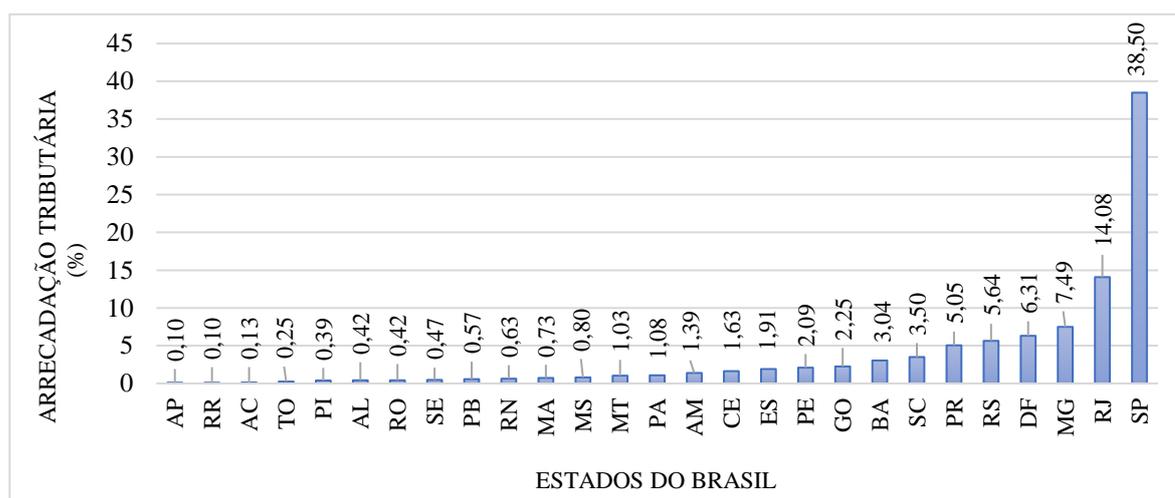
Figura 2 - Arrecadação de impostos estaduais no Brasil 2010 – 2018 (%).



Fonte: Adaptada com dados de CONFAZ (2019).

A Figura 3 mostra a arrecadação tributária por estado entre os anos de 2010 e 2018. De acordo com esta figura, a arrecadação de 87,95% do ICMS esteve concentrada em apenas 10 estados (SP, RJ, MG, DF, RS, PR, SC, BA, GO, PE). Note que o estado de SP recolhe a maior quantia de ICMS do País com 38,5% do total arrecadado.

Figura 3 - Arrecadação tributária por Estados 2010 – 2018.



Fonte: FACESP; ACSP; IBPT (2019)

Com o objetivo de aumentar a arrecadação, alguns estados oferecem benefícios fiscais para atrair empresas e investimentos. Esta estrutura do sistema tributário resulta na chamada ‘Guerra Fiscal’ entre os estados. Dois efeitos dessa guerra fiscal são: a possível perda de arrecadação dos estados, cujas empresas vêm migrando atrás de maiores benefícios fiscais e a redução da elasticidade da renda tributária dos estados que os concedem (CUNHA, 2008).

3.2 FORMA DE CÁLCULO E ESTRUTURA DE TRIBUTAÇÃO

O cálculo do ICMS é realizado sobre o valor da mercadoria na saída do estabelecimento de origem, conforme expressão (3.1) a seguir:

$$ICMS = \left[\frac{\text{Valor do produto}}{(1-\text{alíquota})} - \text{Valor do produto} \right] \quad (3.1)$$

Para explicar estrutura de créditos e débitos de ICMS ao longo das etapas de uma cadeia de suprimentos e mostrar como este imposto pode afetar as decisões de localização,

são usados exemplos numéricos propostos a partir da estrutura de rede de distribuição apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Créditos e débitos no cálculo de ICMS.



Fonte: Adaptado de Jalal (2017)

Na Figura 4, temos primeiramente uma operação de transferência de material na camada (planta-CD) o cálculo de ICMS é feito sobre o valor da mercadoria, que neste caso corresponde ao custo do produto. Como o ICMS é um imposto não cumulativo, saldos de operações anteriores, por exemplo, créditos da etapa de aquisição de matéria prima, podem ser deduzidos do valor a ser pago. O valor do ICMS na operação de transferência é recolhido no estado de origem, ou seja, no estado em que a planta está localizada. Na operação de venda (CD-cliente), o ICMS incide sobre o valor do produto (preço). Da mesma forma, como o ICMS é não cumulativo, o valor do ICMS pago na operação de transferência (planta-CD) pode ser deduzido do valor a ser pago na operação de venda (CD-cliente). O valor devido do ICMS na operação de venda é recolhido no estado em que o CD está localizado.

Assim, suponha que uma rede em que na operação de transferência (planta-CD) a alíquota seja de 7% e o valor do produto (custo) seja R\$ 50 e que na operação de venda (CD-cliente) a alíquota seja de 12% e valor do produto seja de R\$ 100. Assumindo que não tenha créditos da operação de fornecimento (antes da planta) e utilizando a fórmula do ICMS (3.1), temos que os valores de ICMS a serem pagos em cada etapa são:

- ICMS na operação planta-CD (crédito) = R\$ 3,76
- ICMS na operação CD-cliente (débito) = R\$ 13,63
- Saldo do ICMS a pagar (débito – crédito) = R\$ 9,87

Neste exemplo o valor do produto na venda é maior que na operação de transferência e as alíquotas são diferentes. Suponha que o valor do produto na operação de venda (preço) seja maior ou igual ao valor do produto na operação de transferência (custo). Se o valor das alíquotas de ICMS nas operações de transferência e venda forem iguais, então o saldo de ICMS resulta em um valor positivo ou nulo. No entanto, o que ocorre no caso do Brasil é que as tarifas de ICMS podem ser menores nas operações de venda, dependendo da localização dos CDs.

A Tabela 2 apresenta os valores das taxas de ICMS em vigência para medicamentos. As linhas apresentam as taxas ou alíquotas para produtos enviados para todos os estados. A diagonal desta tabela representa as alíquotas interestaduais. Assim, suponha uma fábrica localizada no estado de SP que possui um CD em MG que por sua vez envia produtos para clientes na BA. A alíquota de SP para MG é de 12% e a alíquota de MG para BA é de 7%. Caso o CD estivesse localizado em SP, a alíquota seria de 18% na operação de transferência.

Tabela 2 – Alíquotas de ICMS dos estados.

	DESTINOS																												
	AC	AL	AM	AP	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA	PB	PR	PE	PI	RN	RS	RJ	RO	RR	SC	SP	SE	TO	EX	
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	12	12	12	12	4
AL	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
AM	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
AP	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
BA	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
CE	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
DF	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
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	12	12	12	12	4
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	12	12	12	12	4
MA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
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	12	12	12	12	4
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	12	12	12	12	4
MG	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	18	7	7	12	7	7	7	12	12	7	7	12	12	7	7	4	
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	12	12	12	12	4
PB	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
PR	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	18	7	7	7	12	12	7	7	12	12	7	7	4	
PE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
PI	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
RN	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
RS	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	18	12	7	7	12	12	7	7	4	
RJ	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12	20	7	7	12	12	7	7	4	
RO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17,5	12	12	12	12	12	4	
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	12	12	12	4	
SC	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12	12	7	7	17	12	7	7	4	
SP	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12	12	7	7	12	18	7	7	4	
SE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	4	
TO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	4	
EX	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	

Fonte: SAGE (2019).

Desta forma, a estrutura de tributação de ICMS pode gerar um débito na operação de venda menor que o crédito, ou seja, um saldo negativo. Neste contexto, no planejamento das redes de distribuição é importante evitar que os créditos sejam superiores aos débitos, lembrando que esta situação gera ‘crédito morto’.

Como mencionado anteriormente, além dos estados terem autonomia para a fixação das alíquotas internas de ICMS, eles podem oferecer benefícios fiscais para atrair empresas e investimentos. Como é o caso do crédito presumido de ICMS. Evidentemente, esta alíquota de crédito presumido sempre vai ser menor que a alíquota de ICMS aplicada. Segundo o Conselho Nacional de Política Fazendária (2018), o valor do crédito presumido é calculado pela aplicação de uma determinada alíquota sobre o valor do imposto devido na operação, como pode ser observado na expressão (3.2) a seguir:

$$ICMS = \left[\frac{\text{Valor do produto}}{(1-\% ICMS)} - \frac{\text{Valor do produto}}{(1-\% \text{Crédito Presumido})} \right] \quad (3.2)$$

Para ilustrar melhor, considere que no exemplo anterior seja concedido um benefício fiscal de 4% na operação de venda (CD-cliente):

- Crédito presumido = R\$ 4,17
- ICMS na operação de venda (débito) = R\$ 13,64
- Saldo do ICMS a pagar (débito – crédito presumido) = R\$ 9,47

Neste caso, ao invés de usar o crédito da operação anterior (R\$ 3,76) para calcular o saldo de ICMS, é utilizado o crédito presumido (R\$ 4,17), que resulta em um desconto maior, reduzindo o valor a ser pago pela empresa.

Conforme observado na revisão da literatura e na estrutura de tributação do ICMS, os parâmetros que influenciam o planejamento das redes de distribuição e a localização de CDs são as alíquotas de imposto e o valor do produto em cada operação (planta-CD e CD-cliente). Mais especificamente a variação nas alíquotas e o valor agregado dos produtos. Com o intuito de fazer uma análise prévia destes parâmetros foram feitos cálculos considerando algumas possibilidades de variação entre as alíquotas e valor agregado. Desta forma, a Tabela 3 apresenta os cálculos de ICMS para todas as combinações de alíquotas de 7%, 12% e 18% entre os trechos planta-CD e CD-cliente e de valor agregado de \$20, \$40 e \$50. Ou

seja, ao todo foram feitas 27 combinações variando as taxas de origem e destino e o valor agregado. O total de ICMS pago apresentado na tabela é obtido da seguinte forma: no caso de saldo positivo, o valor total pago corresponde ao ICMS da venda; no caso de saldo negativo, o valor total pago corresponde ao ICMS da transferência.

Tabela 3 - Exemplos numéricos com variação de alíquotas e valor agregado.

Teste		Alíquota (%)	Valor do Produto	ICMS	Alíquota (%)	Valor do Produto (k)	ICMS	Saldo	ICMS total pago
		Planta - CD			CD-cliente				
Valor agregado = \$20 (a)	1	7		6,02	7		7,53	1,51	7,53
	2	12		10,91	12		13,64	2,73	13,64
	3	18		17,56	18		21,95	4,39	21,95
	4	7		6,02	12		13,64	7,61	13,63
	5	7	80	6,02	18	100	21,95	15,93	21,95
	6	12		10,91	7		7,53	-3,38	10,91
	7	12		10,91	18		21,95	11,04	21,95
	8	18		17,56	7		7,53	-10,03	17,56
	9	18		17,56	12		13,64	-3,92	17,56
Valor agregado = \$40 (b)	1	7		4,52	7		7,53	3,01	7,53
	2	12		8,18	12		13,64	5,45	13,63
	3	18		13,17	18		21,95	8,78	21,95
	4	7		4,52	12		13,64	9,12	13,64
	5	7	60	4,52	18	100	21,95	17,44	21,96
	6	12		8,18	7		7,53	-0,65	8,18
	7	12		8,18	18		21,95	13,77	21,95
	8	18		13,17	7		7,53	-5,64	13,17
	9	18		13,17	12		13,64	0,47	13,64
Valor agregado = \$50 (c)	1	7		3,76	7		7,53	3,76	7,53
	2	12		6,82	12		13,64	6,82	13,64
	3	18		10,98	18		21,95	10,98	21,96
	4	7		3,76	12		13,64	9,87	13,63
	5	7	50	3,76	18	100	21,95	18,19	21,95
	6	12		6,82	7		7,53	0,71	7,53
	7	12		6,82	18		21,95	15,13	21,95
	8	18		10,98	7		7,53	-3,45	10,98
	9	18		10,98	12		13,64	2,66	13,64

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados de ICMS da Tabela 3 mostram alguns indicativos para as relações entre as diferentes alíquotas e o valor agregado. Conforme esperado, nos testes em que as alíquotas são iguais nas operações de transferência e venda (1a, 2a, 3a, 1b, 2b, 3b, 1c, 2c, 3c) é possível observar que o ICMS total aumenta conforme o valor das taxas e independente do valor agregado dos produtos.

Na maioria dos testes em que as alíquotas são maiores no primeiro trecho (planta-CD) ocorre a geração de crédito ‘morto’ (6a, 8a, 9a, 6b, 8b, 8c). Mas em alguns casos, em que a diferença entre as alíquotas é menor e o valor agregado é maior (9b, 6c, 9c) isso não ocorre.

Um resultado interessante é o saldo a pagar quando a diferença entre as alíquotas é maior. Isso implica em diferenças no recolhimento nos estados onde estão as plantas e nos estados onde estão os CDs. Por exemplo, compare os saldos nos testes 5a, 5b e 5c, em que a combinação das alíquotas é 7% e 18% (planta-CD e CD-clientes, respectivamente) com os testes 7a, 7b e 7c, em que a combinação é 12% e 18% (CD-clientes e planta-CD, respectivamente). Com menores diferenças entre as alíquotas, o saldo a pagar é menor no estado de destino, ou seja, nos estados em que estão localizados os CDs.

Estes testes indicam como as combinações entre os valores das alíquotas de ICMS entre origem-destino nas duas camadas da rede e as diferenças entre o valor agregado dos produtos influenciam o montante de ICMS que deve ser recolhido em cada operação. Isto reforça a relevância de avaliar criteriosamente estes parâmetros nas decisões de localização dos CDs, principalmente considerando cenários de alterações na política tributária brasileira.

3.3 OBJETO DE ESTUDO E DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Considerando que as alíquotas de ICMS dependem do tipo de produto e que incidem sobre o valor agregado, define-se como objeto de estudo a rede de distribuição de medicamento. O setor farmacêutico foi escolhido pela diversidade em termos de valor dos produtos e valor agregado nas operações de venda, além da facilidade de obtenção dos dados coletados em trabalhos anteriores e de validação dos resultados junto a gestores do setor.

Segundo a Associação da Indústria Farmacêutica de Pesquisa (INTERFARMA) em 2015, o Brasil foi o 16º no ranking geral e o líder entre os países latino-americanos,

responsável por 1,54% das importações mundiais de produtos farmacêuticos. Ainda de acordo com esta associação, o Brasil é um dos maiores consumidores de medicamentos do mundo: passou da 10ª posição para a 7ª em cinco anos no *ranking* mundial de vendas e a estimativa é que em 2020, o País ocupe a 5ª posição. O país é um grande consumidor e possui um elevado volume de medicamentos importados recebidos de 78 países na última década. A Alemanha foi a principal origem das importações, atingindo 19% do total. Os Estados Unidos e a Suíça aparecem na sequência com 17% e 12%, respectivamente. Dentro do país, estas importações são lideradas por São Paulo, com US\$ 3,3 bilhões (48% do total). Goiás e Rio de Janeiro aparecem na sequência com US\$ 1,18 bilhão (17%) e US\$ 894 milhões (13%). A Unidade da Federação (UF) com maior crescimento de importações foi Pernambuco, saindo de US\$ 1 milhão em 2005, para US\$ 222 milhões em 2014. Goiás aparece em seguida com um aumento de 2%.

A cadeia de suprimentos da indústria farmacêutica no Brasil envolve diversas empresas, desde fornecedores da indústria química e de embalagens, passando por empresas dedicadas a importação, fabricação e distribuição até empresas dedicadas à comercialização de medicamentos. Além de que possui 3,34 farmácias por cada grupo de 10 mil habitantes, excedendo as recomendações da Organização Mundial da Saúde. Este fator somado à extensão territorial do país aumenta a complexidade na configuração da rede de suprimentos (JALAL, 2017).

Devido à complexidade das operações de distribuição e ao alto valor agregado dos produtos, o sistema tributário tem um impacto significativo no planejamento da rede logística de medicamentos. No setor farmacêutico os preços são regulados, portanto a inserção das taxas pode acabar sendo paga pelo cliente ou diretamente pelo investidor, que paralelamente pode ser o próprio estado (DA SILVA et al., 2012).

Com este panorama, a distribuição de medicamentos no Brasil precisa ser planejada cuidadosamente, para entregar ao cliente produtos com as melhores condições de qualidade, com menores custos logísticos, nos prazos estabelecidos e com menores custos com impostos possíveis, como é o caso do ICMS. Para minimizar os custos tributários, em alguns casos são inseridos na rede de distribuição os benefícios fiscais oferecidos pelos estados. Em leis de benefícios estaduais e municipais o tipo de regime de tributação não conta, já que não

impacta os tributos como o ICMS (estadual) e outros municipais (BRITTO; DER LOO; STEAGALL, 2014).

Neste contexto, os desafios para o planejamento da rede de distribuição observados no setor farmacêutico envolvem decisões estratégicas como a localização de CDS e alocação de clientes aos mesmos. As principais decisões no contexto do estudo são:

- Qual a melhor localização para CDs? Quais clientes ou regiões devem ser atendidos pelos CDs abertos?
- O crédito presumido atua como fator diferenciador na localização dos CDs e alocação de clientes?
- Os custos tributários sempre prevalecem em relação aos custos logísticos?
- Como o valor dos produtos influencia na alocação de clientes e produtos aos CDs?

Considerar estas decisões no planejamento da rede logística é uma atividade complexa, que envolve a análise das faixas de preço dos produtos (valor agregado) e alíquotas de ICMS, que impactam nos custos tributários e a análise de peso/volume dos produtos, que impactam nos custos logísticos. Esta complexidade justifica a utilização de ferramentas como os modelos matemáticos discutidos na revisão da literatura. Assim, o Capítulo 4 apresenta um modelo matemático baseado nos modelos da literatura para avaliar as questões levantadas nesta pesquisa.

4 MODELAGEM MATEMÁTICA

Neste capítulo é apresentado o modelo de localização de centros de distribuição com custos de ICMS utilizado nesta pesquisa. Este modelo é semelhante aos modelos propostos por Da Silva (2007), Carraro (2009) e Jalal (2017). Para formulação do modelo é utilizada a seguinte notação:

Conjuntos e índices

I	conjunto de plantas (indexado por i)
J	conjunto de locais para abrir CDs (indexado por j)
K	conjunto de clientes (indexado por k)
P	conjunto de produtos (indexado por p)

Parâmetros

d_{pk}	demanda do produto p no cliente k (unidades)
o_j	custo fixo de abertura do CD j (unidades monetárias)
C_{ijp}, C'_{jpk}	custo unitário de transporte do produto p planta-CD ($i-j$) e CD-cliente ($j-k$)
p_p	preço unitário do produto p (unidades monetárias)
θ_p	custo unitário de produção do produto p (unidades monetárias)
$\alpha_{ij}, \alpha'_{jk}$	alíquota de ICMS para planta-CD ($i-j$) e CD-cliente ($j-k$)
β_j	crédito presumido de ICMS no candidato j
b_j	indica opção por crédito presumido ($b_j = 1$) ou não ($b_j = 0$)
N	número máximo de CDs na rede
M	número suficientemente grande

Variáveis de decisão

X_{pij}, X'_{pjk}	Fluxo de produto p planta-CD ($i-j$) e CD-cliente ($j-k$)
Q_j^+	Saldo positivo de ICMS no CD j
Q_j^-	Saldo negativo (crédito morto) de ICMS no CD j
Z	Valor da função objetivo

Y_j 1, se o CD j é aberto; 0, caso contrário.

Para a formulação das expressões de cálculo dos custos tributários são necessárias algumas considerações iniciais. De acordo com a fórmula de cálculo do ICMS apresentada no Capítulo 3, o valor de ICMS em cada CD é calculado considerando o valor devido na movimentação e descontando-se o valor de crédito das operações anteriores. Usando a notação definida acima o montante de ICMS devido na operação planta-CD pode ser calculado como se segue:

$$\text{ICMS planta-CD} = \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \left(\frac{\theta_p X_{pij}}{1 - \alpha_{ij}} - \theta_p X_{pij} \right) \forall j \in J \quad (4.1)$$

Da mesma forma, o ICMS na operação de venda para cada CD pode ser calculado como:

$$\text{ICMS CD-Cliente} = \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \left(\frac{p_p X'_{pjk}}{1 - \alpha'_{jk}} - p_p X'_{pjk} \right) \forall j \in J \quad (4.2)$$

O saldo de ICMS a pagar em cada CD é calculado descontando do ICMS CD-Cliente os créditos de operações anteriores ou o crédito presumido que pode ser oferecido pelo estado em que o CD está localizado. No caso de crédito de operações anteriores, o saldo é calculado da seguinte forma:

$$\text{Saldo} = \sum_{p \in P} \left[\sum_{k \in K} \left(\frac{p_p X'_{pjk}}{1 - \alpha'_{jk}} - p_p X'_{pjk} \right) - \sum_{i \in I} \left(\frac{\theta_p X_{pij}}{1 - \alpha_{ij}} - \theta_p X_{pij} \right) \right] \forall j \in J \quad (4.3)$$

No caso de crédito presumido o saldo de ICMS é calculado da seguinte forma:

$$\text{Saldo}_P = \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \left[\left(\frac{p_p X'_{pjk}}{1 - \alpha'_{jk}} - p_p X'_{pjk} \right) - \left(\frac{p_p X'_{pjk}}{1 - \beta_j} - p_p X'_{pjk} \right) \right] \forall j \in J \quad (4.4)$$

A expressão (4.4) pode ser simplificada:

$$\text{Saldo}_P = \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \left(\frac{p_p X'_{pjk}}{1 - \alpha'_{jk}} - \frac{p_p X'_{pjk}}{1 - \beta_j} \right) \quad \forall j \in J \quad (4.5)$$

Note na expressão (4.5) que, caso não seja concedido benefício fiscal de crédito presumido em determinado candidato, a expressão fica exatamente como a fórmula inicial de ICMS. Considerando que o crédito presumido é uma opção em substituição ao creditamento normal de ICMS, é necessário considerar quando pode ser usado o crédito presumido. Desta forma, o parâmetro b_j é utilizado e as expressões (4.3) e (4.5) são combinadas para calcular o saldo de ICMS.

$$\left| \sum_{p \in P} \left[\sum_{k \in K} \left(\frac{p_p X'_{pjk}}{1 - \alpha'_{jk}} - \frac{p_p X'_{pjk}}{1 - b_j \beta_j} \right) - \sum_{i \in I} \left(\frac{\theta_p X_{pij}}{1 - (1 - b_j) \alpha_{ij}} - \theta_p X_{pij} \right) \right] \right| \quad \forall j \in J \quad (4.6)$$

Pela expressão (4.6) temos que, caso um estado j não ofereça crédito presumido ou a empresa não opte por este benefício ($b_j = 0$), então a expressão (4.6) é reduzida à expressão (4.3). Da mesma forma, caso o estado ofereça a opção de crédito presumido e a empresa escolha esta forma de creditamento ($b_j = 1$), então a expressão (4.6) é reduzida à expressão (4.5), garantindo que o crédito presumido seja utilizado de forma opcional. Observe também que este saldo de ICMS pode ter um valor positivo ou negativo, dependendo do valor das alíquotas de origem-destino em cada trecho (planta-CD e CD-cliente) e do valor dos produtos em cada operação de movimentação.

Vale ressaltar que este saldo é calculado para cada CD j pois o ICMS é tributado na origem. No caso de saldo positivo, este valor deve ser recolhido nos respectivos estados onde os CDs estão localizados e o valor total pago pela empresa corresponde ao ICMS da operação planta-CD mais o saldo positivo. Para o caso de saldo negativo, o valor total do imposto pago pela empresa é equivalente ao valor do ICMS das operações na transferência. Ou seja, o crédito gerado na operação anterior não pode ser recuperado, o que é chamado de 'crédito morto'. Algumas empresas buscam evitar a geração deste crédito, como pode ser observado nos trabalhos de Da Silva (2007), Carraro (2009) e Jalal (2017). A geração de crédito morto pode ser impedida por restrições ou, como no trabalho de Jalal (2017) e Da Silva (2007) pode ser penalizado na função objetivo.

Diante destas considerações sobre a estrutura de cálculo dos custos de ICMS, o modelo matemático para representar este problema pode ser formulado da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \min \sum_{j \in J} o_j Y_j + \sum_{p \in P} \left[\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ijp} X_{pij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c'_{jkp} X'_{pjk} \right] \\ + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \left(\frac{\theta_p X_{pij}}{1 - \alpha_{ij}} - \theta_p X_{pij} \right) + \sum_{j \in J} Q_j^+ + \sum_{j \in J} Q_j^- \end{aligned} \quad (4.7)$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} X'_{pjk} \geq d_{pk} \quad p \in P, k \in K \quad (4.8)$$

$$\sum_{i \in I} X_{pij} = \sum_{k \in K} X'_{pjk} \quad j \in J, p \in P \quad (4.9)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} X_{pij} \leq M Y_j, \quad j \in J \quad (4.10)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j \leq N \quad (4.11)$$

$$\sum_{p \in P} \left[\sum_{k \in K} \left(\frac{p_p X'_{pjk}}{1 - \alpha'_{jk}} - \frac{p_p X'_{pjk}}{1 - b_j \beta_j} \right) - \sum_{i \in I} \left(\frac{\theta_p X_{pij}}{1 - (1 - b_j) \alpha_{ij}} - \theta_p X_{pij} \right) \right] \leq Q_j^+ \quad \forall j \in J \quad (4.12)$$

$$\sum_{p \in P} \left[\sum_{i \in I} \left(\frac{\theta_p X_{pij}}{1 - (1 - b_j) \alpha_{ij}} - \theta_p X_{pij} \right) - \sum_{k \in K} \left(\frac{p_p X'_{pjk}}{1 - \alpha'_{jk}} - \frac{p_p X'_{pjk}}{1 - b_j \beta_j} \right) \right] \leq Q_j^- \quad \forall j \in J \quad (4.13)$$

$$X_{pij}, X'_{pjk}, Q_j^+, Q_j^- \geq 0, \quad i \in I, j \in J, k \in K; Y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (4.14)$$

A função objetivo (4.7) busca minimizar os custos totais da rede de distribuição e é composta por expressões que referem-se aos custos logísticos de localização e de transporte nos trechos planta-CD ($i - j$) e CD-planta ($j - k$) e por expressões que referem-se aos custos tributários, que compreendem o valor do ICMS na operação de transferência, o saldo positivo do balanço de ICMS ($\sum_{j \in J} Q_j^+$) nos CDs e a penalização do crédito morto ($\sum_{j \in J} Q_j^-$).

As restrições (4.8) garantem o atendimento de toda a demanda dos clientes para cada produto. Note que a alocação de CDs a clientes pode ser diferente para cada produto, dependendo dos custos de transporte e custos de ICMS. As equações (4.9) são restrições de balanceamento de fluxo, assegurando que todos os produtos que chegam aos CDs j tem que

sair de j para os clientes k . Como os CDs são locais gerenciados por prestadores de serviço especializado, em geral existe espaço suficiente para atender toda a demanda, desta forma, considera-se que não existem restrições de capacidade nos CDs.

As restrições (4.10) garantem que os produtos sejam enviados apenas para CDs abertos. As restrições (4.11) limitam o número de CDs abertos. Os custos de abertura são relativamente pequenos, pois a decisão de abertura envolve um contrato de prestação de serviços ao invés de altos investimentos de construção, mesmo assim é importante limitar o número de CDs devido a regulamentações sanitárias típicas do setor farmacêutico.

As restrições (4.12) e (4.13) correspondem ao cálculo de ICMS. A inequação (4.12) contabiliza o valor do saldo positivo de ICMS (Q_j^+), enquanto a inequação (4.13) contabiliza o saldo negativo (Q_j^-). Finalmente, as expressões (4.14) definem o domínio das variáveis do modelo.

5 TESTES COMPUTACIONAIS

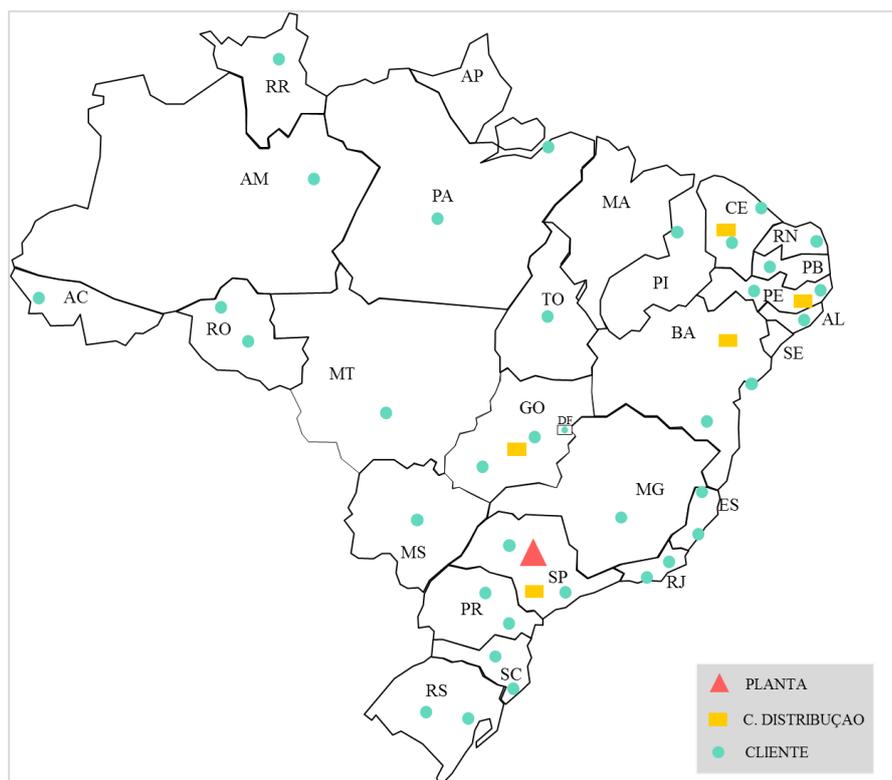
O objetivo deste capítulo é apresentar e analisar os resultados dos testes realizados com o modelo matemático. O propósito dos testes é observar quais são clientes atendidos pelos CDs, observar quais CDs atendem clientes dentro do mesmo estado, avaliar o impacto do valor agregado dos produtos e identificar as situações em que o planejamento tributário influencia o planejamento logístico e vice-versa. Desta forma, este capítulo foi dividido em 4 seções: na seção 5.1 são apresentados os dados utilizados; a seção 5.2 apresenta e analisa os resultados do modelo e os *trade-offs* entre custos logísticos e tributários; a seção 5.3 apresenta uma análise detalhada do resultados da alocação de produtos e clientes a CDs; e a seção 5.4 apresenta os resultados de testes com dados mais agregados para avaliar outros cenários de ICMS.

Todos os testes foram executados utilizando a linguagem de programação algébrica GAMS 25.0.2 e o solver CPLEX 12.8, em um computador com 16 GB de memória RAM, processador Intel (R). Core (TM) i7-2600 CPU @ 3,40GHz e sistema operacional de 64 Bits com Windows 7. O critério de parada foi gap de 0,001% para todos os testes, a execução de cada teste está entre 30 a 40 segundos para encontrar a solução ideal.

5.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS

A maioria dos parâmetros utilizados neste trabalho foram obtidos do trabalho de Jalal (2017), que coletou e compilou dados de uma empresa multinacional do setor farmacêutico que opera no Brasil. A rede de distribuição considerada é composta por: 1 planta de produção, localizada em SP; 5 locais candidatos localizados em: Fortaleza (CE), Recife (PE), Goiânia (GO), Salvador (BA) e São Paulo (SP) e 36 clientes distribuídos em diferentes estados do País, como mostra a Figura 6. Para testar o modelo atual com a inserção da estrutura tributária do ICMS, foram utilizadas as alíquotas de ICMS vigentes no ano de 2019 para medicamentos. Entre os locais candidatos para a abertura de CDs, dois oferecem a opção de crédito presumido como benefício fiscal, a saber, o CD candidato de Recife (PE) cujo estado oferece 3% de crédito presumido e o CD candidato de Goiânia (GO), cujo estado oferece 5,6%.

As demandas, preços e pesos dos produtos, são apresentados na Tabela 4. A Tabela 5 apresenta os custos de abertura de cada candidato a CD.

Figura 5 - Mapa com os pontos da rede de distribuição.

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4 - Demanda, preço e peso por produto.

Produto	Demanda	Preço (\$)	Peso (kg)	Produto	Demanda	Preço (\$)	Peso (kg)
1	4.324.424	111	0,01	16	3.265.808	64	0,03
2	3.832.580	125	0,02	17	3.212.568	567	0,05
3	90.454	4.587	0,09	18	386	0,2	0,02
4	2.221.962	172	0,03	19	583.476	1.517	0,06
5	1.989.518	162	0,05	20	2.694.730	195	0,07
6	346.412	722	0,1	21	92.186	13.785	0,04
7	6	671	0,16	22	394.318	4.747	0,04
8	423.766	5.585	0,09	23	853.628	901	0,13
9	10.156.142	380	0,03	24	35.830	86	0,93
10	150.398	2.801	0,1	25	653.584	1.238	1
11	2.646	5.627	1,2	26	3.071.226	1.241	1,21
12	13.728	9.267	1,2	27	40.008	814	2,43
13	11.846.236	2	0,02	28	72.368	947	2,47
14	972.598	40	0,03	29	620.606	2.073	4,25
15	1.283.450	45	0,02	30	56.594	1.468	4,45

Tabela 5 - Custo fixo de abertura (\$).

CD	Custo abertura
São Paulo	661.850,00
Recife	653.670,00
Salvador	666.600,00
Fortaleza	609.310,00
Goiânia	640.450,00

Os custos de frete foram calculados com base nos dados de uma empresa que presta serviços de transporte. Estes valores dependem das zonas de origem e destino, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Tarifas de frete entre os estados no Brasil.

Destino / Origem		Sudeste					Sul			Norte							Nordeste							Centro-Oeste						
		ES	MG	RJ	SPC	SPI	PR	RS	SC	AM	PA	AC	AP	PO	RR	TO	BA	CE	AL	MA	PE	PB	PI	RN	SE	DF	GO	MS	MT	
Sudeste	ES	1	4	4	4	5	4	5	5	7	7	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	MG	4	1	3	3	4	4	5	5	7	7	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
	RJ	4	3	1	2	3	4	5	5	7	7	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
	SPC	4	3	2	1	2	3	4	4	7	7	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
	SPI	5	4	3	2	1	4	5	5	7	7	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
Sul	PR	4	4	4	3	4	1	4	4	7	7	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
	RS	5	5	5	4	5	4	1	4	7	7	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
	SC	5	5	5	4	5	4	4	1	7	7	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
Norte	AM	7	7	7	7	7	7	7	7	1	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	PA	7	7	7	7	7	7	7	7	5	1	6	6	6	6	6	7	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
	AC	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	AP	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	PO	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	RR	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	TO	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	6	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
Nordeste	BA	4	5	5	5	6	6	6	6	7	7	6	6	6	6	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
	CE	6	6	6	6	7	7	7	7	7	5	6	6	6	6	5	5	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	AL	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	4	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	MA	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	4	6	1	6	6	6	6	6	6	6	6		
	PE	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	4	6	6	1	6	6	6	6	6	6	6		
	PB	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	4	6	6	6	1	6	6	6	6	6	6		
	PI	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	4	6	6	6	6	1	6	6	6	6	6		
	RN	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	4	6	6	6	6	6	1	6	6	6	6		
SE	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	4	6	6	6	6	6	6	1	6	6	6			
Centro-Oeste	DF	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	1	1	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	GO	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	1	1	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	MS	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	1	1	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	MT	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	1	1	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		

Fonte: DHL Express (2019).

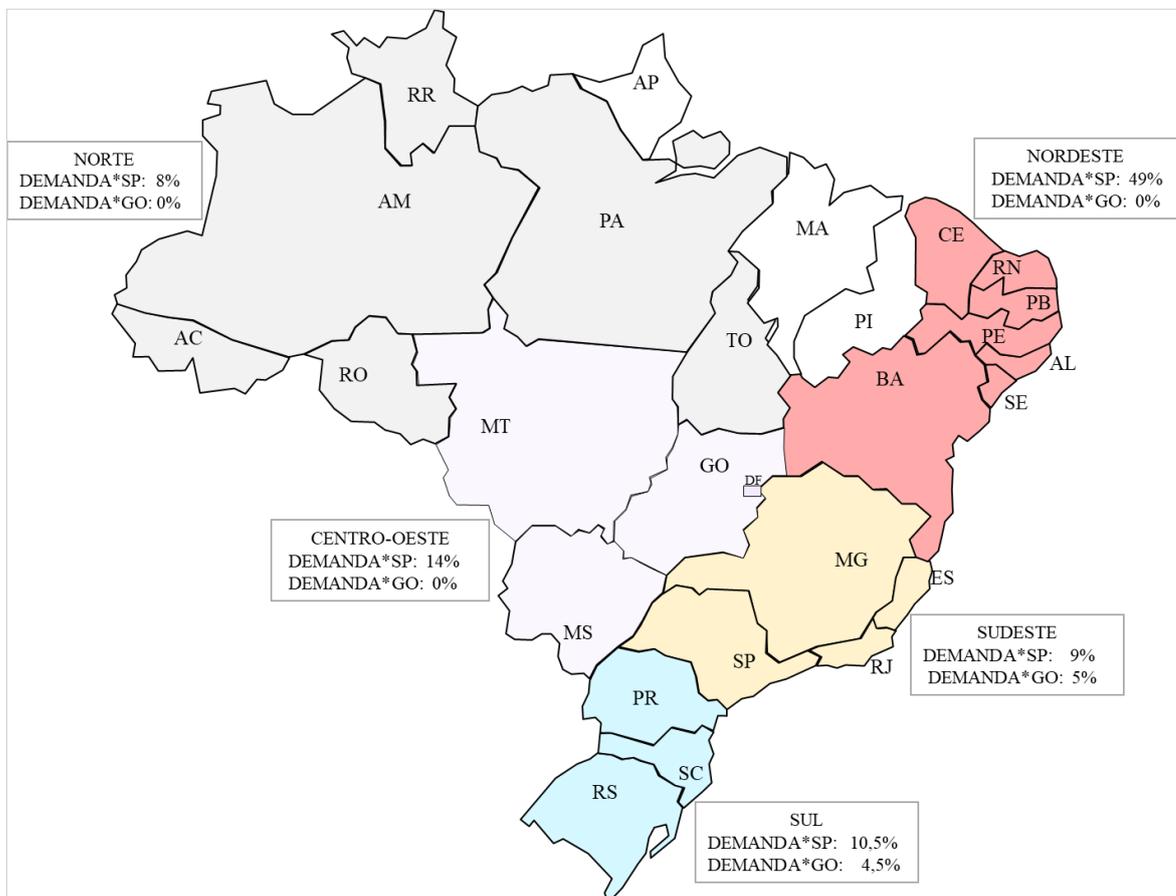
Na Tabela 6 que os números que interceptam as origens e destinos representam as zonas de distância, sendo que a zona 1 indica a distância mais próxima e a zona 7 refere-se

a mais distante. Sendo assim, o frete entre origem-destino na zona 1 tem o menor valor (R\$6,84), enquanto o frete origem-destino na zona 7 tem o maior valor (R\$55,80).

5.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO

A aplicação do modelo (4.7) - (4.14) no planejamento da rede de distribuição de medicamentos utilizando os dados descritos acima resulta em um custo total de \$ 2,46 milhões. Deste total 84% corresponde aos custos de ICMS e apenas 16% corresponde aos custos logísticos. Assim como no trabalho de Jalal (2017) os resultados indicam a abertura de dois CDs, um em São Paulo (SP) e outro em Goiânia (GO), sendo que o CD de São Paulo atende 93% de toda a demanda. Adicionalmente, note na Figura 6 que a alocação dos clientes atendidos pelo CD de Goiânia centra-se nas regiões Sudeste e Sul, que junto com a demanda compartilhada com o CD de São Paulo controvertem um *trade-offs* entre o planejamento logístico e tributário.

Figura 6 - Decisões de abertura e demanda das regiões atendidas por cada CD.

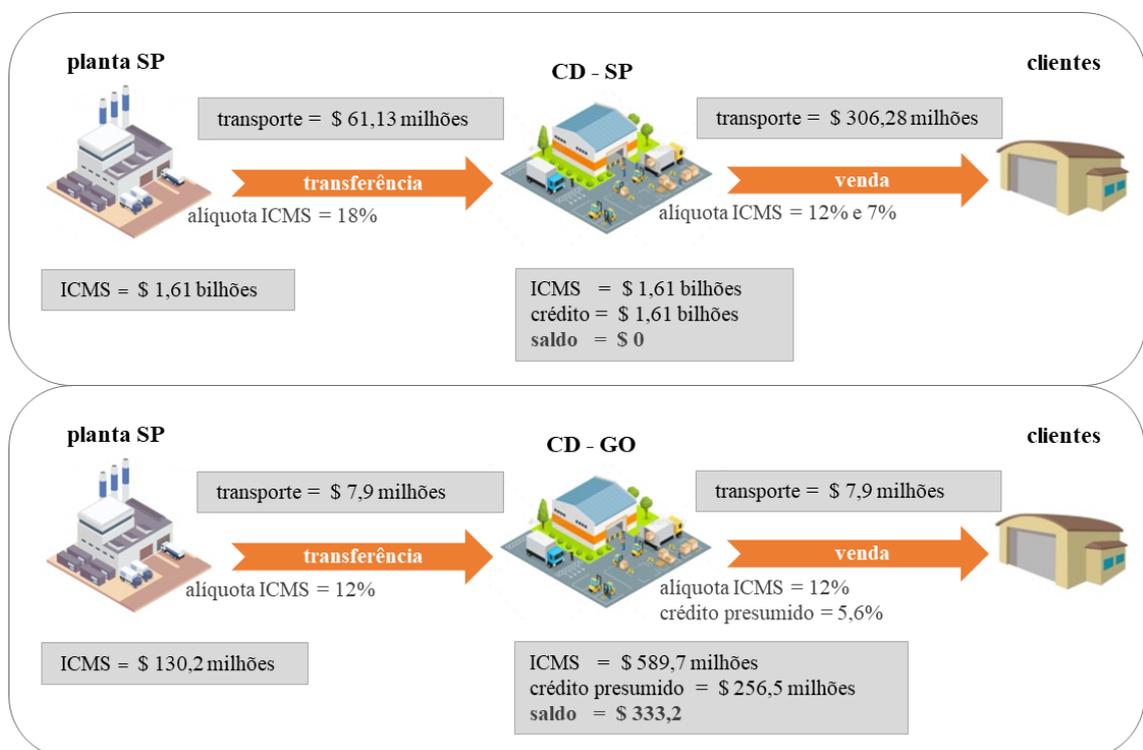


Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise detalhada dos fluxos para atendimento da demanda mostra que 100% dos clientes de Goiás (capital e interior) são atendidos pelo CD de São Paulo. Já 98,6% dos clientes do estado de São Paulo (capital e interior) são atendidos pelo CD de Goiânia. Estas situações ocorrem devido às diferenças entre as alíquotas: a alíquota intraestadual de GO é de 17%, enquanto a alíquota interestadual de SP para GO é de 7%; a alíquota intraestadual de SP é de 18%, enquanto a alíquota interestadual de GO para SP é de 12%, além do crédito presumido de 5,6%.

A Figura 7 apresenta os resultados dos custos de transporte e custos de ICMS nas operações planta-CD e CD-planta. Note na Figura 7 que o montante de ICMS recolhido no estado de São Paulo é de \$1,61 bilhões e em Goiânia o total recolhido é de apenas \$ 333,2 milhões. O crédito presumido oferecido pelo estado de Goiás é de \$ 256,5 milhões, o que compensa sua utilização em relação a opção de creditamento das operações anteriores (\$130,2 milhões).

Figura 7 - ICMS pago em cada etapa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Atualmente a empresa possui apenas um CD localizado em São Paulo e os estudos de viabilidade de abertura de novos CDs já realizados pela empresa (via contratação de consultoria especializada) foram motivados pela oferta do crédito presumido em alguns estados. Para uma comparação da rede atual com o resultado obtido neste teste, utilizou-se o modelo (4.7) – (4.10) fixando a abertura apenas do CD de São Paulo. A Tabela 7 sintetiza e compara os resultados dos custos para as duas situações.

Tabela 7 - Comparação entre os custos da rede atual e a rede do modelo.

REDE ATUAL: CD SP		REDE MODELO: CD SP e CD GO			
ICMS planta-CD SP	1.992.271.449	ICMS planta-CD SP	1.612.539.582	ICMS planta-CD GO	130.206.745
Crédito	0	Crédito	0	Crédito	0
Saldo ICMS	1.992.271.449	Saldo ICMS	1.612.539.582	Saldo ICMS	130.206.745
ICMS CD SP-clientes	2.433.482.793	ICMS CD SP-clientes	1.612.539.582	ICMS CD GO-clientes	589.735.095
Crédito anterior	1.992.271.449	Crédito anterior	1.612.539.582	Crédito presumido	256.551.426
Saldo ICMS	441.211.344	Saldo ICMS	0	Saldo ICMS	333.183.669
Total ICMS pago	2.433.482.793	Total ICMS pago		2.075.929.996	
Custo abertura	661.850	Custo abertura	661.850	Custo abertura	640.450
Transp. planta-CD SP	62.391.765	Transp. planta-CD SP	61.126.143	Transp. planta-CD GO	7.974.385
Transp. CD SP-clientes	309.037.692	Transp. CD SP-clientes	306.282.004	Transp. CD GO-clientes	7.974.385
Total custos logísticos	372.091.307	Total custos logísticos		384.659.217	

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados mostram que a configuração da rede atual tem um custo total de \$2,8 bilhões, sendo que o montante de ICMS recolhido no estado de São Paulo é de \$ 2,43 bilhões. Ou seja, para a empresa, a solução do modelo resulta em uma redução de 15% nos custos ICMS. Para a empresa a abertura de um outro CD em Goiânia implica em um aumento nos custos logísticos de apenas 3%, o que pode ser considerado ainda menos relevante dado a menor proporção dos custos logísticos em relação aos custos tributários. No entanto, foi realizado um teste considerando apenas os custos logísticos e como se esperava os resultados são exatamente iguais aos custos da rede atual, o que mostra que atualmente a empresa prioriza os custos logísticos.

De forma geral, estes resultados confirmam a premissa inicial baseada na literatura de que os estados com menores alíquotas ou que oferecem crédito presumido conseguem atrair investimentos das empresas de medicamentos. Este resultado já era esperado inclusive por observações empíricas, pois grande parte das empresas farmacêuticas possuem operação em Goiás devido ao incentivo fiscal. Mas um aspecto interessante a se notar nos resultados é

que, mesmo com o incentivo fiscal, apenas 7% da demanda total da empresa seria atendida pelo CD de Goiânia. Isso pode ser explicado pelas alíquotas interestaduais competitivas do estado de São Paulo, muitas são 7% (Tabela 2).

Um outro teste otimizando apenas os custos de ICMS obteve resultados muito semelhantes aos resultados do teste inicial (cenário-base), também sugerindo a abertura dos CDs em São Paulo e Goiânia. Os resultados de custos são muito parecidos tanto em termos de custos de transporte entre planta-CD e CD-planta para os dois CDs quanto em termos de custos de ICMS nos dois trechos e montantes de recolhimento nos dois estados.

5.3 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE CUSTOS E ALOCAÇÃO

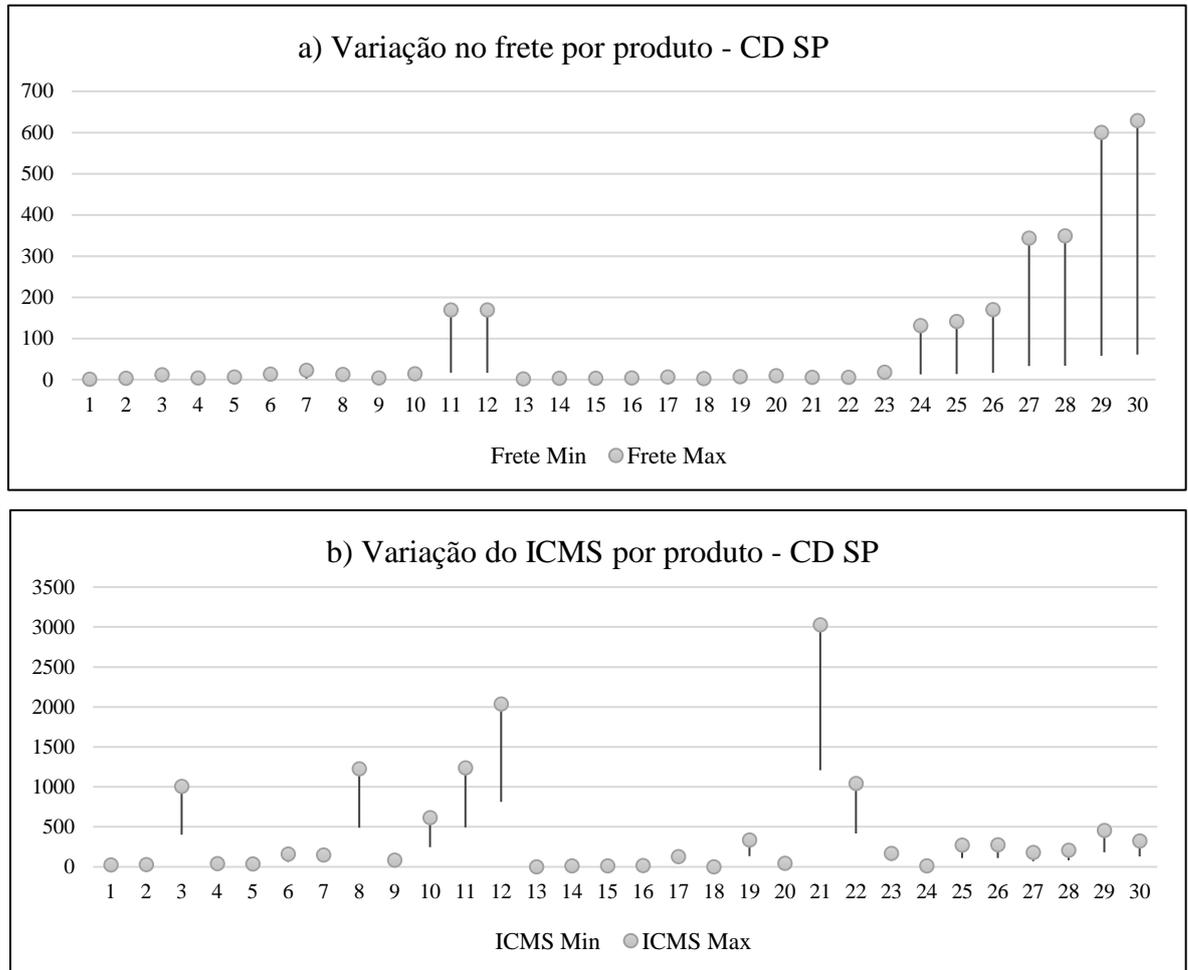
Os resultados do modelo (4.7)- (4.14) aplicados ao problema de distribuição de medicamentos são bastante semelhantes em relação aos trabalhos anteriores Jalal (2017) e Jalal et al. (2019), apesar das diferenças em termos de foco nos aspectos estratégicos e na contabilização do crédito presumido. No entanto, o principal objetivo desta pesquisa é analisar de forma mais detalhada a relação entre os custos logísticos, principalmente os custos de transporte, os custos tributários e qual o impacto destes custos na alocação de clientes até os CDs. Como mencionado, estes custos dependem dos seguintes parâmetros do modelo: alíquotas origem-destino intra e interestaduais; e dos custos unitários de transporte que também dependem da origem-destino e são tabelados por zonas para determinar os valores de frete (conforme Tabela 6). A análise da relação entre estes parâmetros e a sua influência nos resultados é ainda mais complexa considerando as diferenças entre os produtos. Por exemplo, os valores (preços) que impactam nos custos de ICMS e os pesos, que impactam nos custos de transporte são muito diferentes, como pode ser observado na Tabela 4).

5.3.1 Agrupamento de produtos

Apesar das diferenças entre os produtos, uma análise inicial dos dados mostra que existem comportamentos semelhantes em relação aos custos unitários de ICMS e custos unitários de frete para alguns produtos. Considerando que na maioria dos resultados dos testes realizados foram selecionados os CDs de São Paulo e Goiânia, foram calculados os custos unitários de frete e os custos de ICMS para cada produto e para todas as zonas de

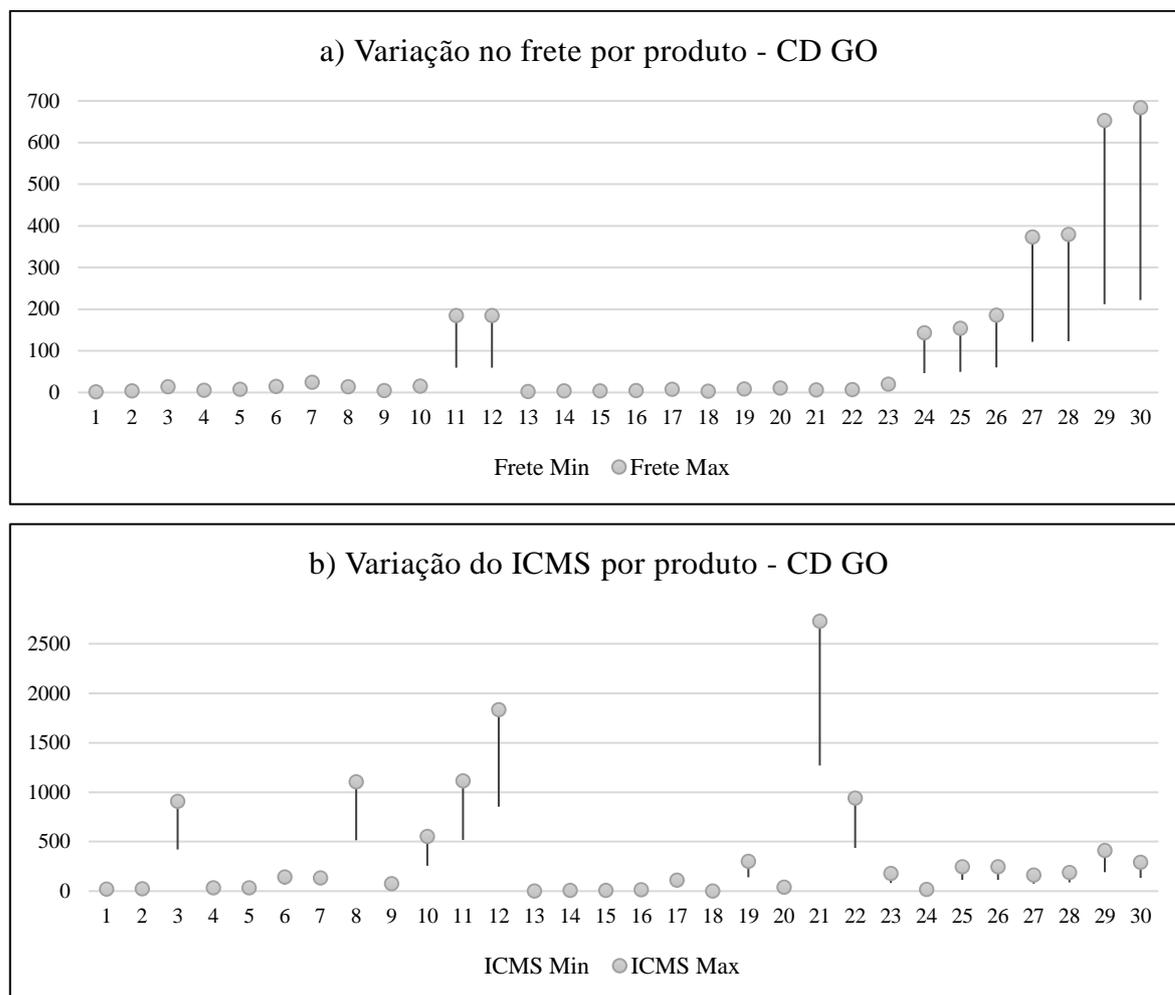
demanda. As Figuras 8 e 9 apresentam a variação destes custos por produto a partir do atendimento por São Paulo e Goiânia, respectivamente.

Figura 8 - Custos unitários de frete (a) e de ICMS (b) por produto desde o CD de São Paulo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9 - Custos unitários de frete (a) e de ICMS (b) por produto desde o CD de Goiânia.



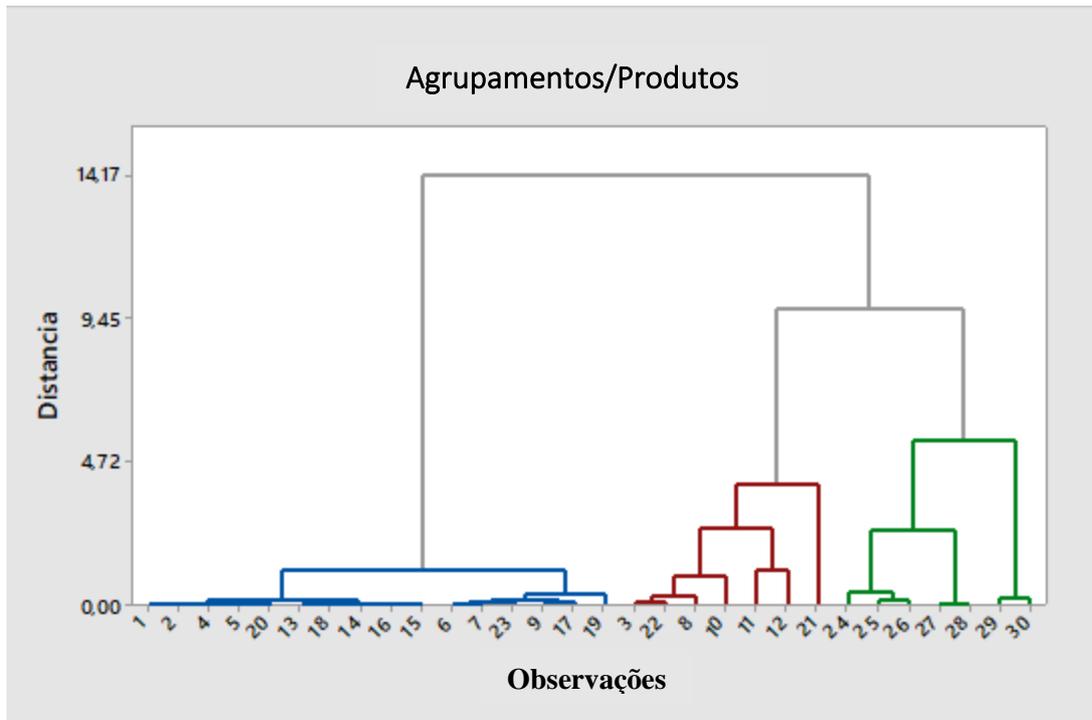
Fonte: Elaborada pelo autor.

É possível observar na Figura 8 que a variação entre os custos de frete e de ICMS apresenta comportamento semelhante para vários produtos. Por exemplo, os produtos 1, 2, 4, 5, entre outros na Figura 8 apresentam um comportamento similar ou de pequena variação entre os custos de frete e os custos de ICMS. Também é possível observar que os custos de ICMS dos produtos 3, 8, 10, 11, entre outros são maiores em relação aos custos de ICMS. As Figuras 8 e 9 mostram que os custos unitários de frete e de ICMS para os diferentes produtos com atendimento pelo CD de São Paulo e de Goiânia são similares. Isto pode ser explicado pela semelhança entre as alíquotas e as zonas de frete destes CDs.

A partir da observação deste comportamento nos custos nas Figuras 8 e 9 foi realizado um agrupamento para facilitar a análise dos resultados e a obtenção de *insights* sobre o problema. Para o agrupamento tipo “Dendrograma” foi utilizado o método de enlace Ward

que aplica uma análise de *clúster* hierárquico, com a utilização da distância de Pearson do software Minitab (versão 18) considerando os parâmetros preço e peso dos produtos. O resultado deste agrupamento é apresentado na Figura 10 (MINITAB, 2019).

Figura 10 - Agrupamentos por características de peso e preço dos produtos



Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com os agrupamentos apresentados na Figura 10, os preços e pesos dos produtos apresentam uma alta similaridade resultando em 3 agrupamentos ou categorias de produtos. A Tabela 8 apresenta os produtos em cada categoria, denominados A, B e C, incluindo as informações de preço e peso.

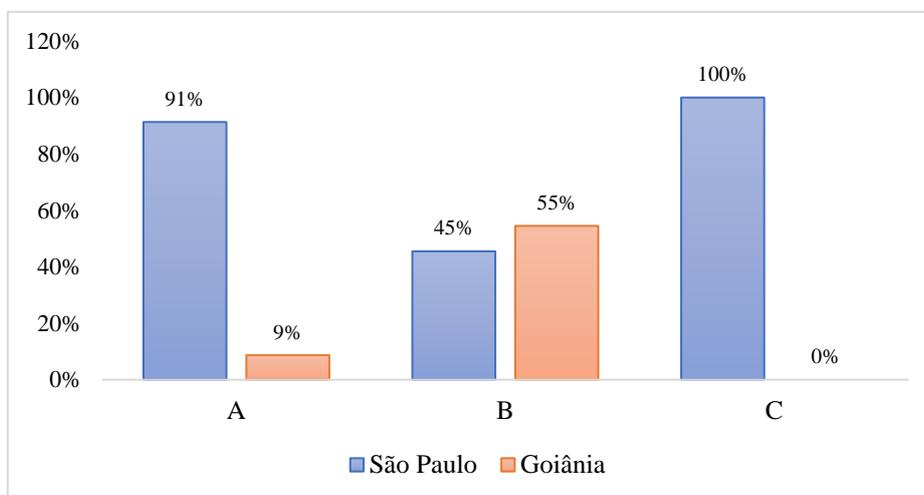
Tabela 8 - Produtos por agrupamento com preço e peso.

	CATEGORIA A				CATEGORIA B				CATEGORIA C		
	PRODUTO	PESO	PREÇO		PRODUTO	PESO	PREÇO		PRODUTO	PESO	PREÇO
	1	0,01	111		3	0,09	4.587		24	0,93	86
	2	0,02	125		22	0,04	4.747		25	1,00	1.238
	4	0,03	172		8	0,09	5.585		26	1,21	1.241
	5	0,05	162		10	0,1	2.801		27	2,43	814
	6	0,1	722		11	1,2	5.627		28	2,47	947
	7	0,16	671		12	1,2	9.267		29	4,25	2.073
	9	0,03	380		21	0,04	13.785		30	4,45	1.468
	13	0,02	2								
	14	0,03	40								
	15	0,02	45								
	16	0,03	64								
	17	0,05	567								
	18	0,02	0,2								
	19	0,06	1.517								
	20	0,07	195								
	23	0,13	901								

Fonte: Elaborada pelo autor.

Note que cada categoria possui características interessantes. Em geral, a categoria A é formada por produtos de peso baixo e preço baixo, a categoria B é formada por produtos de peso médio e preço alto, e a categoria C é composta por produtos de peso alto e preço médio.

A partir deste agrupamento os resultados do modelo para alocação por CDs foram novamente avaliados, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 11- Resultados da alocação aos CDs por categoria.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como pode ser observado na Figura 11, o CD de São Paulo atende a grande maioria da demanda dos produtos da categoria A (91%) e toda a demanda dos produtos da categoria C. Já o atendimento da demanda dos produtos da categoria B é mais equilibrado entre os CDs de São Paulo e Goiânia, 45% e 55%, respectivamente. No caso da categoria A, o resultado pode ser explicado pelo menor valor dos produtos, e pela proximidade no valor das alíquotas praticadas nos estados. No caso da categoria C, os pesos dos produtos são maiores o que pode implicar que os custos de transporte favoreçam o atendimento por São Paulo. Finalmente no caso da categoria B, era esperado um maior atendimento pelo CD de Goiânia, uma vez que os valores dos produtos são maiores e podem compensar aumentos nos custos logísticos.

5.3.2 Análise de atendimento por categoria de produto e zona de frete

Para compreender melhor as características comuns na alocação de CDs aos clientes, foram analisados os fluxos dos produtos por categorias de produtos, por zonas (frete) e por regiões. Assim, analisou-se os fluxos dos produtos por zonas (1 até 7), lembrando que a zona 1 está relacionada com maior proximidade (origem-destino) e menor custo de frete, do mesmo jeito a zona 7 está relacionada ao trajeto mais longo e com maior custo de frete. Vale mencionar que o tabelamento de alguns trechos por zona de frete não depende apenas da distância, mas também de outros fatores como o estado das vias.

A Tabela 9 apresenta os resultados do modelo para clientes em zona 1 de frete, ou seja, frete mais baixo. Cabe ressaltar que a zona de frete no trecho planta-CD já é conhecida.

Tabela 9 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 1

Categoria	PLANTA - CD					CD - CLIENTE			
	Planta	CDs	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)	Região	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)
A	SP	SP	1	6,84	18	Sudeste	1	6,84	18
C		SP	1	6,84	18		1	6,84	18

Fonte: Elaborada pelo autor.

Todo o atendimento da demanda de clientes em zona 1 de frete em relação aos 2 CDs é atendida pelo CD de São Paulo. Os clientes nesta zona demandam apenas os produtos das categorias A e C, que correspondem aos produtos de preço baixo e médio, neste sentido os custos logísticos parecem ser mais relevantes, mesmo que as alíquotas de ICMS sejam de 18% nos dois trechos.

A Tabela 10 apresenta os resultados do modelo para clientes em zona 2 de frete. Neste caso, a demanda de todas as categorias de produtos é atendida pelo CD de São Paulo, mesmo com alíquotas CD-cliente de 12% e 18%. Novamente, os custos de transporte parecem prevalecer em relação aos custos de ICMS.

Tabela 10 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 2

Categoria	PLANTA - CD					CD - CLIENTE			
	Planta	CDs	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)	Região	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)
A		SP	1	6,84	18		2	14,71	12 e 18
B	São Paulo	SP	1	6,84	18	Sudeste	2	14,71	12
C		SP	1	6,84	18		2	14,71	12 e 18

Fonte: Elaborada pelo autor.

O atendimento dos clientes em zona 3 de frete (Tabela 11), também é realizado pelo CD de São Paulo e inclui clientes nas regiões do Sudeste e Sul, cujas tarifas de ICMS na operação de venda (CD-clientes) são de 12% e demandam produtos de todas as categorias.

Tabela 11 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 3.

Categoria	PLANTA - CD					CD - CLIENTE			
	Planta	CDs	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)	Região	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)
A	São Paulo	SP	1	6,84	18	Sudeste	3	19,4	12
C		SP	1	6,84	18		3	19,4	12
A	São Paulo	SP	1	6,84	18	Sul	3	19,4	12
B		SP	1	6,84	18		3	19,4	12
C		SP	1	6,84	18		3	19,4	12

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados do atendimento da demanda nos clientes em zona 4 (Tabela 12) também indicam a alocação ao CD de São Paulo. Estes clientes estão localizados nos estados das regiões Sul e Sudeste e também demandam por produtos de todas as categorias.

Tabela 12 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 4

Categoria	PLANTA - CD					CD - CLIENTE			
	Planta	CDs	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)	Região	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)
A	São Paulo	SP	1	6,84	18	Sudeste	4	24,48	7
B		SP	1	6,84	18		4	24,48	7
C		SP	1	6,84	18		4	24,48	7
A	São Paulo	SP	1	6,84	18	Sul	4	24,48	12
B		SP	1	6,84	18		4	24,48	12
C		SP	1	6,84	18		4	24,48	12

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados de atendimento da zona 5, que compreendem alguns clientes da região Nordeste (Tabela 13), ainda indicam o atendimento a partir do CD de São Paulo. Do ponto de vista de distância, os estados do Nordeste estão mais próximos do CD de Goiânia, mas como mencionado anteriormente, o tabelamento das zonas de frete não considera apenas distâncias.

Tabela 13 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 5

Categoria	PLANTA - CD					CD - CLIENTE			
	Planta	CDs	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)	Região	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)
A	São Paulo	SP	1	6,84	18	Nordeste	5	31,41	7
B		SP	1	6,84	18		5	31,41	7
C		SP	1	6,84	18		5	31,41	7

Fonte: Elaborada pelo autor.

O atendimento dos clientes na zona 6 de frete apresentam os resultados mais interessantes, conforme pode ser observado na Tabela 14. Os clientes desta zona localizados nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste são atendidos pelo CD de São Paulo em suas demandas pelos produtos de todas as categorias. Já os clientes em zona 6 localizados nas

regiões Sul e Sudeste tem suas demandas por produtos das categorias A e B atendidas pelo CD de Goiânia. No caso da categoria A, o peso baixo dos produtos pode explicar vantagens dos custos de ICMS em relação aos custos de transporte, mesmo para produtos de preço baixo. No caso da categoria B, o preço alto pode indicar vantagens nos custos de ICMS, mesmo que os produtos desta categoria tenham peso alto e, portanto, maiores custos de transporte.

Tabela 14 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 6

Categoria	PLANTA - CD					CD - CLIENTE			
	Planta	CDs	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)	Região	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)
A	São Paulo	SP	1	6,84	18	Centro-Oeste	6	43,07	7
B		SP	1	6,84	18		6	43,07	7
C		SP	1	6,84	18		6	43,07	7
A	São Paulo	SP	1	6,84	18	Nordeste	6	43,07	7
B		SP	1	6,84	18		6	43,07	7
C		SP	1	6,84	18		6	43,07	7
A	São Paulo	SP	1	6,84	18	Norte	6	43,07	7
B		SP	1	6,84	18		6	43,07	7
C		SP	1	6,84	18		6	43,07	7
A	São Paulo	GO	6	43,07	7	Sudeste	6	43,07	6,4
B		GO	6	43,07	7		6	43,07	6,4
A	São Paulo	GO	6	43,07	7	Sul	6	43,07	6,4
B		GO	6	43,07	7		6	43,1	6,4

Fonte: Elaborada pelo autor.

Finalmente a Tabela 15 mostra os resultados do atendimento dos clientes em zona 7 de frete. Estes clientes estão localizados na região Norte e são atendidos pelo CD de São Paulo. Note que os valores de frete são maiores em relação ao atendimento por Goiânia, ou seja a zona de frete (GO-Nordeste) em geral é igual a 1 para a maioria dos estados. No entanto, o frete planta-GO é classificado como zona 6.

Tabela 15 - Resultados do atendimento da demanda da Zona 7

Categoria	PLANTA - CD					CD - CLIENTE			
	Planta	CDs	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)	Região	Zona	Frete (\$)	ICMS (%)
A	São Paulo	SP	1	6,84	18	Norte	7	55,80	7

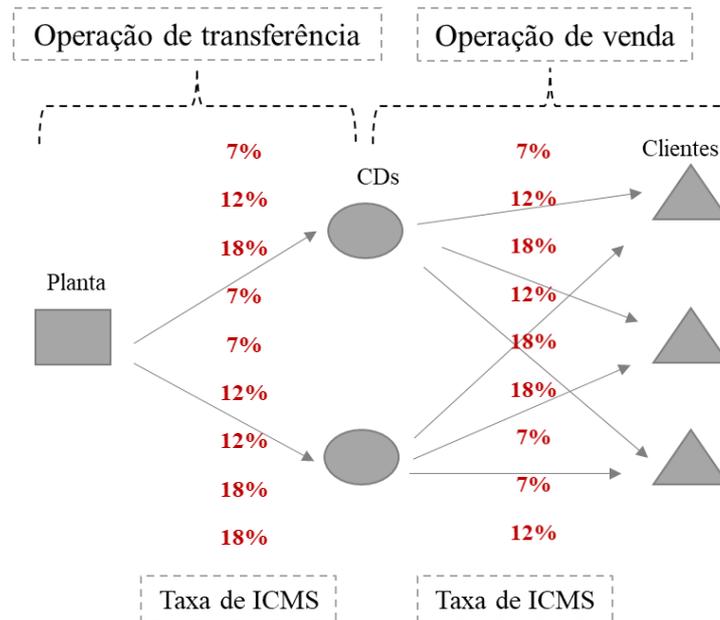
Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesta seção, observa-se que o agrupamento dos produtos em categorias e a análise por zonas de frete facilita a análise em relação à avaliação entre os custos de transporte e os custos de ICMS. Neste sentido, um resultado importante é que o valor dos produtos tem um impacto menor nos custos de ICMS, mostrando a importância dos custos de transporte. Isso porque, o benefício fiscal oferecido pelo estado de Goiás não parece ter tanto impacto frente alíquotas de ICMS do estado de São Paulo.

5.4 AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE ICMS

Para testes de avaliação de novos cenários de ICMS foi utilizada uma instância com os dados adaptados, agregando-se os 30 produtos dos dados iniciais nas três categorias anteriormente definidas. Um teste com as mesmas alíquotas e demais parâmetros obteve os mesmos resultados de localização e alocação anteriores. Desta forma, esta instância de dados agrupados foi utilizada para os testes de variação de cenários de ICMS. Foram analisados 9 cenários com variações das taxas de ICMS (7,12,18) nas operações de transferência (planta-CD) e (7,12,18) nas operações de venda (CD-planta), como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Combinação entre tarifas planta-CD e CD-clientes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados dos testes com as variações das taxas de ICMS (Figura 12) são apresentados na Tabela 16. Como resultados observa-se: decisões de abertura de CDs, os custos envolvidos no planejamento tributário (custos de ICMS na operação de transferência, na operação de venda, saldo ICMS e o crédito morto, se houver) e os custos logísticos (frete) em cada operação de transferência e venda.

Como resultado esperado na abertura dos CDs, nos 9 cenários um dos CDs aberto é o CD de São Paulo, por sua vantagem de menores taxas de ICMS até os diferentes estados e menor custo logístico relacionado à zona 1 e o CD de CE por sua região possuir quase o 50% da demanda total. Porém, evidentemente a maior porcentagem da alocação da demanda dos clientes é atribuída ao CD de São Paulo.

Tabela 16 - Cenários de ICMS (variação de taxas na transferência e venda).

Cenário	Planta-CD				CD-clientes						
	Alíquota	CD	Custo ICMS	Custo Transporte	Alíquota	Custo ICMS	Saldo ICMS	Crédito morto	Custo Transporte	Custo total ICMS	Custo total transporte
1	7%	SP	698.539	61.100	7%	1.746.349	1.047.809	0	295.948	1.800.086	358.640
		CE	21.495	1.374		53.737	32.242	0	218		
2	12%	SP	1.266.561	61.117	12%	3.166.402	1.899.841	0	296.057	3.261.194	358.640
		CE	37.917	1.264		94.792	56.875	0	201		
3	18%	SP	2.038.854	61.117	18%	5.097.136	3.058.281	0	296.057	5.249.727	358.640
		CE	61.037	1.264		152.592	91.555	0	201		
4	7%	SP	699.105	61.117	12%	3.166.402	2.467.297	0	296.057	3.261.194	358.640
		CE	20.929	1.264		94.792	73.863	0	201		
5	7%	SP	699.105	61.117	18%	5.097.136	4.398.030	0	296.057	5.249.727	358.640
		CE	20.929	1.264		152.592	131.663	0	201		
6	12%	SP	1.266.561	61.117	18%	5.097.136	3.830.575	0	296.057	5.249.727	358.640
		CE	37.917	1.264		152.592	114.675	0	201		
7	12%	SP	1.265.536	61.100	7%	1.746.349	480.813	0	296.057	1.800.086	358.731
		CE	38.942	1.374		53.737	14.795	0	201		
8	18%	SP	2.037.204	61.100	7%	1.746.349	0	290.855	296.057	2.399.696	358.731
		CE	62.687	1.374		53.737	0	8.950	201		
9	18%	SP	2.038.854	61.100	12%	3.166.402	1.127.548	0	296.057	3.261.194	358.731
		CE	61.037	1.374		94.792	33.755	0	201		

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação aos custos envolvidos no planejamento logístico e tributário, observou-se que nos diferentes cenários (Tabela 16) os custos tributários possuem maior repercussão nos custos totais da rede de distribuição. Do mesmo jeito, observa-se que a variação dos custos tributários de ICMS é elevada entre os diferentes cenários. Já os custos logísticos variam pouco, por atingir o CD de São Paulo a maior parte da demanda nos resultados ótimos de cada cenário.

Para detalhar o cálculo dos custos totais de ICMS em cada CD, observa-se na Tabela 17 os resultados de cada CD em cada cenário. Para calcular o custo de ICMS pago pelo CD de São Paulo, contemplamos o ICMS pago por cada CD nas operações de transferência planta-CD e o saldo de ICMS (crédito – débito) nas operações de venda. Já o total de ICMS dos outros CDs abertos se resume no saldo de ICMS (Tabela 16). Como exemplo, veja-se o cálculo do cenário 1:

- **Custo de ICMS (CD SP)** = 698.539(custo transf_ICMS SP) + 21.495(custo transf_ICMS CE) + 1.047.809 (saldo ICMS SP) = 1.767.844
- **Custo de ICMS (CD CE)** = 32.242 (saldo ICMS CE)

Tabela 17 - Cálculo do ICMS por CD dos cenários.

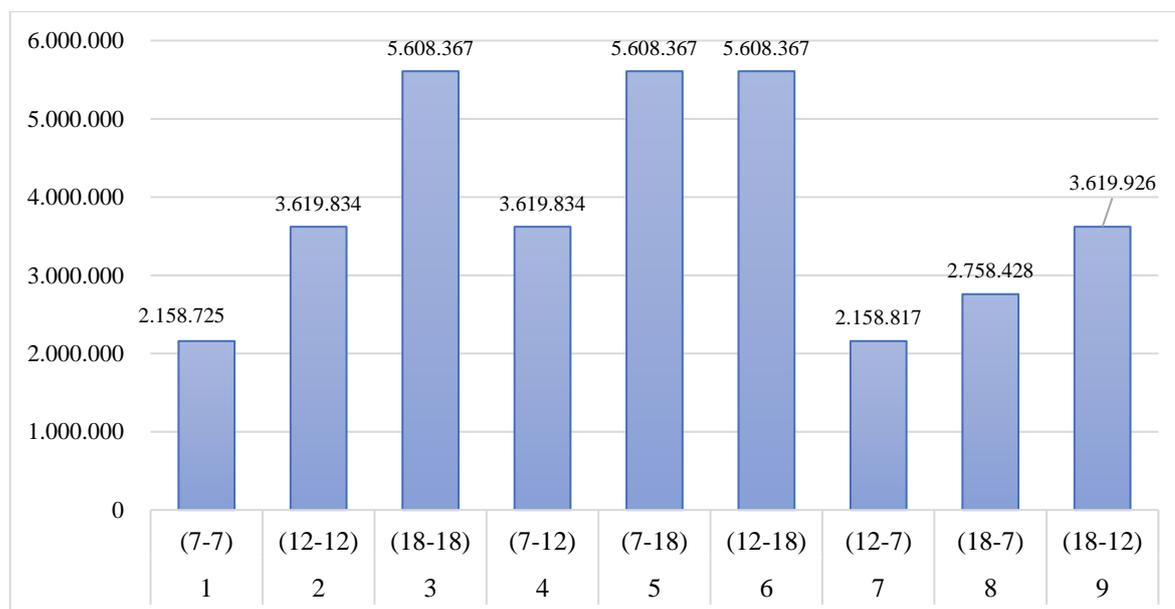
Cenário	planta-CD		ICMS / estado
1	SP	SP	1.767.844
		CE	32.242
2	SP	SP	3.204.319
		CE	56.875
3	SP	SP	5.158.172
		CE	91.555
4	SP	SP	3.187.331
		CE	73.863
5	SP	SP	5.118.065
		CE	131.663
6	SP	SP	5.135.052
		CE	114.675
7	SP	SP	1.785.291
		CE	14.795
8	SP	SP	2.390.746
		CE	8.950
9	SP	SP	3.227.439
		CE	33.755

Fonte: Elaborada pelo autor.

De maneira geral, veja-se nos custos totais da f.o. (Figura 13) que quando incrementada a taxa de ICMS na operação de venda os custos da f.o. incrementam proporcionalmente. Nesse sentido, é possível observar que os cenários com taxas menores (7%) na operação de venda (cenários 1, 7 e 8) apresentam menores custos na configuração da rede de distribuição de medicamentos. Este resultado já era esperado por observações empíricas.

Adicionalmente, note-se que à medida em que as taxas são incrementadas na operação de venda e taxas fixas na operação de transferência como nos cenários (1,4,5); (2,6,7) e (3,8,9) os custos da f.o. incrementam proporcionalmente. Observe-se também que quando as taxas da operação de vendas são iguais, os custos totais da f.o. são relativamente parecidos. Finalmente, como resultado esperado e observado nas instâncias ilustrativas a relação de taxa (18-7) é geradora de crédito morto.

Figura 13 - Custos totais da Função objetivo dos cenários.



Fonte: Elaborada pelo autor.

É possível observar na Tabela 18 como a relação das taxas de ICMS entre as operações de transferência e venda impactam ao planejamento tributário. Nesse ambiente tributário da rede de medicamentos, as melhores combinações de taxas são: (12-7), (7-7) e (18-7), como esperado realçando que a relação (7-7) como mais favorável para a minimização dos custos de uma rede distribuição do setor farmacêutico e provavelmente de outros setores industriais do Brasil. Assim, é possível evidenciar que menores alíquotas de

ICMS na operação de transferência (planta-CD) não garantem as melhores combinações de taxas para a minimização desses custos tributários em uma cadeia de suprimentos.

Tabela 18 - % de custos tributários e logísticos nos diversos cenários.

Cenário	ICMS total pago	Custos Logísticos	Tx ICMS
1	83,0%	17,0%	(7-7)
7	83,4%	16,6%	(12-7)
8	87,0%	13,0%	(18-7)
4	90,1%	9,9%	(7-12)
9	90,1%	9,9%	(18-12)
2	90,1%	9,9%	(12-12)
5	93,6%	6,4%	(7-18)
6	93,6%	6,4%	(12-18)
3	93,6%	6,4%	(18-18)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conseqüentemente, se consideradas as alíquotas (Tabela 2) utilizadas na pesquisa atual para operação de transferência (SP>SP:18%), note-se que o menor impacto no planejamento tributário, no planejamento logístico e nos custos totais da f.o. apresenta-se no cenário 8 (Tabela 18) com taxa de ICMS de 7% para o atendimento dos clientes. Da mesma forma, dada uma menor participação dos custos logísticos (SP>SP:Zona1) nos resultados do modelo atual, o CD de São Paulo realiza em maior proporção o atendimento da demanda no horizonte de planejamento de 1 ano da empresa de medicamentos.

Finalmente, a rede distribuição de medicamentos é uma operação altamente impactada pelo planejamento tributário e especificamente pela estrutura do ICMS, contemplando a transferência entre planta e centros de distribuição, o benefício do crédito presumido e a transferência de produto acabado entre depósitos e clientes.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Avaliou-se que existe uma relação e um *trade-off* entre custos logísticos e tributários na configuração de redes de distribuição. Mais especificamente, esta pesquisa investigou o impacto destes parâmetros nas decisões de localização de centros de distribuição de uma empresa do setor farmacêutico que opera no Brasil e que atualmente conta com uma planta e um CD no estado de São Paulo. Com isto, na análise detalhada do resultado do modelo de localização de CDs, se observou que as alíquotas do imposto de ICMS, os benefícios fiscais concedidos pelos estados, o valor agregado e o peso dos produtos em cada etapa da rede também impactam as decisões de localização e alocação.

Portanto, ao “avaliar a influência do ICMS no planejamento da rede de distribuição física, especificamente na localização de CDs”, analisou-se que estados que possuem alíquotas de ICMS menores ou benefícios fiscais atuam como pontos de atração de CDs. O modelo tomou a decisão da escolha dos CDs de São Paulo e Goiânia, os quais oferecem, respectivamente: menor taxa de ICMS (7%) para a maioria dos estados e um benefício fiscal de 5,6%.

Outro objetivo da pesquisa foi “estabelecer intervalos ou proporções dos custos de frete, valor agregado e custos tributários para analisar o comportamento da rede”. Conseqüentemente, os produtos foram classificados em três categorias: A (peso baixo / preço baixo dos produtos), a categoria B (peso médio / preço alto) e por último a categoria C (peso alto / preço médio), para analisar a influência dessas características na alocação da demanda dos clientes. Dessa análise se observou que os fluxos de produtos das categorias C e B, respectivamente, tem grande influência nos custos logísticos e nos custos tributários, sendo a demanda da categoria C majoritariamente atendida pelo estado de São Paulo e a da categoria B pelo CD de Goiânia. Em geral a alocação dos produtos de menor valor agregado depende mais dos custos logísticos, enquanto a alocação dos produtos de maior valor agregado é mais influenciada pelos custos tributários. No entanto, um resultado importante é que o valor dos produtos tem um impacto menor nos custos de ICMS, mostrando a importância dos custos de transporte. Isso porque o benefício fiscal oferecido pelo estado de Goiás não parece ter tanto impacto frente às alíquotas de ICMS do estado de São Paulo.

O método empregado neste estudo, que tem como objetivo avaliar o planejamento logístico e tributário para configuração de uma rede de distribuição de medicamentos, é capaz de gerar melhores soluções quando ambos planejamentos estão sendo minimizados na função objetivo. Apesar disso, o teste otimizando apenas os custos de ICMS obteve resultados muito semelhantes aos do teste inicial (cenário-base). Enquanto isso, o crédito presumido atua como uma possibilidade de substituição ao creditamento das operações anteriores, impactando favoravelmente na minimização dos custos totais da rede.

Finalmente, ao “analisar diferentes cenários fiscais” encontrou-se que menores alíquotas de ICMS na operação de transferência (planta-CD) não necessariamente garantem as melhores combinações de taxas nas etapas de uma cadeia de suprimento para a minimização dos custos tributários tão envolvidos na configuração de uma rede de distribuição. Por outro lado, à medida que as taxas são incrementadas na operação de venda, os custos da função objetivo incrementam proporcionalmente.

Contudo, a presente abordagem é capaz de gerar soluções para diferentes cenários, demandando pouco tempo computacional e proporcionando a rapidez necessária na geração e análise destes cenários, além de poder dar apoio à equipe tomadora de decisões logísticas das empresas de medicamentos e possivelmente empresas de outros setores que operem no Brasil.

Uma proposta futura é abordar o problema com programação robusta em nível estratégico, já que a análise da relação entre esses os parâmetros de valor agregado e peso e a sua influência nos resultados é ainda mais complexa considerando as diferenças entre os produtos. Então, como proposta seria criar diferentes cenários que ofereçam diversos ganhos entre os custos de produção e os preços dos produtos, assim como a variação dos pesos dos produtos. A finalidade desses cenários será de clarificar as características da alocação de produtos para buscar um ponto de equilíbrio entre os custos tributários e logísticos que impactam a configuração de uma rede de medicamentos.

REFERÊNCIAS

- AMBROSINO, D.; SCUTELL, M. G. Distribution network design : New problems and related models. v. 165, p. 610–624, 2005.
- AVITTATHUR, B.; SHAH, J.; GUPTA, O. K. Distribution centre location modelling for differential sales tax structure. **European Journal of Operational Research**, v. 162, n. 1, p. 191–205, 2005.
- BANDEIRA, R. **Proposta de uma sistemática de análise para a localização de depósitos**. [s.l.] Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Escola De Engenharia, 2006.
- BRITTO, A.; DER LOO, T.; STEAGALL, M. Cartilha Interfarma sobre uso de incentivos fiscais. **Interfarma, editores, Cultura Acadêmica.**, p. 56, 2014.
- CARRARO, P. **Avaliação da influência de aspectos logísticos, fiscais e ambientais no projeto de redes de distribuição física**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. Supply Chain Management. Strategy, Planning & Operation. **Pearson Education**, p. 528, 2006.
- CONFAZ. **Arrecadação tributária do ICMS no Brasil**. Disponível em: <<https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/boletim-do-icms>>. Acesso em: 1 abr. 2019.
- CUNHA, R. **A influência do ICMS na escolhada Localização dos Centros de distribuição no setor de defensivos Agrícolas**. [s.l.] São Paulo, 2008.
- DA SILVA, M. **Otimização de redes de distribuição física considerando incentivo fiscal baseado no crédito presumido de ICMS**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- DA SILVA, R. et al. Tributos e Medicamentos. **Interfarma, editores, Cultura Acadêmica.**, 2012.
- DHL EXPRESS. **GUIA DE PREÇOS E SERVIÇOS 2019**. Disponível em: <https://www.dhl.com.br/content/dam/downloads/br/express/pt/shipping/rate_guide/dhl_express_rate_transit_guide_br_pt.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2019.
- FACESP; ACSP; IBPT. **Arrecadação por categoria de produção e circulação**. Disponível em: <<https://impostometro.com.br/>>. Acesso em: 27 abr. 2019.
- GUAZZELLI, C. S.; CUNHA, C. B. DA. Otimização multicritério para o problema de localização de centros de distribuição de uma empresa com unidade produtiva no Polo Industrial de Manaus. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 3, p. 480–494, 2015.
- GUAZZELLI, C. S.; DA CUNHA, C. B. Modelagem matemática para o problema de

localização de centros de distribuição de empresa de alimentos. **Transportes**, v. 22, n. 3, p. 86, 2014.

HAMAD, R. **Modelo para localização de instalações em escala global envolvendo vários elos da cadeia logística**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

HAMAD, R. Modelagem de redes logísticas com demandas sazonais: influência do custo de estoque e do crédito de ICMS. **Journal of Transport Literature**, v. 8, p. 295–324, 2014.

JALAL, A. **Modelo para a Integração de Decisões de Localização e Transporte na Distribuição de Medicamentos**. [s.l.] Universidade Federal de São Carlos, 2017.

JALAL, A. et al. An integrated location-transportation problem under value-added tax issues in pharmaceutical distribution planning. **Working paper**, p. 1–30, 2019.

KLOSE, A.; DREXL, A. Facility location models for distribution system design. **European Journal of Operational Research**, v. 162, n. 1, p. 4–29, 2005.

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

MINITAB. **Ward/Pearson/Agrupamentos de variáveis**. Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/multivariate/how-to/cluster-variables/perform-the-analysis/enter-your-data/>>.

Acesso em: 20 out. 2019.

PANTALENA, B. **Otimização da Malha Logística de uma Indústria Química**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

PIZZOLATO, N. D.; RAUPP, F. M. P.; ALZAMORA, G. S. REVISÃO DE DESAFIOS APLICADOS EM LOCALIZAÇÃO COM BASE EM MODELOS DA p-MEDIANA E SUAS VARIANTES. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 13–42, 2012.

SAGE, E. **Tabela ICMS 2019 Atualizada**. Disponível em: <<https://sageead.com.br/ajudaOnline/artigo.aspx?artigo=7767>>. Acesso em: 22 jan. 2019.

VALLIM FILHO, A. **Localização de centros de distribuição de carga: contribuições à modelagem matemática**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

YOSHIZAKI, H. **Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do imposto de circulação de mercadorias e serviços**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.