CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
WILIAN BARBOSA RODRIGUES

O IMPACTO DO IMPOSTO (ICMS) NA EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO EM UM PROJETO DE REDE: estudo de caso em uma empresa de sementes

São Bernardo do Campo
2019

WILIAN BARBOSA RODRIGUES

O IMPACTO DO IMPOSTO (ICMS) NA EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO EM UM PROJETO DE REDE: estudo de caso em uma empresa de sementes

Dissertação apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Orientado pelo Prof. Mauro Sampaio

São Bernardo do Campo

2019

Rodrigues, Wilian Barbosa.
O IMPACTO DO IMPOSTO (ICMS) NA EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO EM UM PROJETO DE REDE: estudo de caso em uma empresa de sementes / Wilian Barbosa Rodrigues. São Bernardo do Campo, 2019.
70 p. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Mauro Sampaio.

1. Modelagem. 2. Malha. Logística. 3. Pesquisa Operacional. 4. ICMS. 5. Agronegócios. I. Sampaio, Mauro, orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

centro universitário FEI

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
ATA DA BANCA EXAMINADORA

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Mecânica

Mestrado

PGM-10

Aluno: Wilian Barbosa Rodrigues **Matrícula:** 217326-8

Título do Trabalho: O impacto do imposto (ICMS) na emissão de gás carbônico em um projeto de rede: estudo de caso em uma empresa de sementes.

Área de Concentração: Produção

Orientador: Prof. Dr. Mauro Sampaio

Data da realização da defesa: 26/11/2019

ORIGINAL ASSINADA

Avaliação da Banca Examinadora:

São Bernardo do Campo, / / .

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA	
Prof. Dr. Mauro Sampaio	Ass.: _____
Prof. Dr. Alexandre Augusto Massote	Ass.: _____
Prof. Dr. Vinicius Picanço Rodrigues	Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

_____

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

_____

Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco

Dedico esse trabalho a Deus e à minha maravilhosa esposa, que me apoiou por inúmeras noites de digitação e pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao professor Mauro, que ajudou muito a transformar uma ideia em projeto, um projeto em pesquisa e a pesquisa nesta dissertação.

Muito obrigado também aos meus outros professores que me agraciaram com a luz do conhecimento que permeia o texto a seguir.

Por fim, não posso deixar de agradecer aos colegas de trabalho, por me socorrerem sempre que precisei sair mais cedo do serviço para concluir o curso.

“Batalhas são lutadas por aqueles que têm coragem para acreditar e são vencidas por aqueles que encontram no coração um lugar para compartilhar”

MANOWAR COURAGE

RESUMO

Diversas entidades, especialmente na Europa, dedicam-se a mensurar os impactos que cada empresa causa ao meio ambiente, provendo recomendações sobre o consumo de milhões de pessoas. O descaso com o meio ambiente pode trazer consequências sérias às empresas e à sua reputação. Do outro lado dessa equação, estão governos de diversos países, tentando ao mesmo tempo manter suas empresas competitivas frente ao mercado global e ainda tirar o máximo proveito da tributação para ampliar a arrecadação. O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto do ICMS na emissão de CO_2 na malha logística de uma empresa de sementes com atuação em todo o território brasileiro. Foi realizado um estudo de caso para a coleta de dados e pesquisa operacional para a apuração dos resultados. O estudo detalha os valores de diversas linhas, como custos de produção, frete e armazenagem, comparando resultados em um cénario base com ICMS e outro sem o imposto. A pesquisa demonstra um aumento de 5% na emissão de CO_2 proveniente de transporte de mercadorias, quando a empresa em estudo desenha sua malha de maneira a otimizar os custos operacionais incluindo o ICMS.

Palavras-chave: Modelagem. Malha. Logística. Pesquisa Operacional. ICMS. Agronegócios.

ABSTRACT

Several entities, especially in Europe are dedicated to measuring the impacts that each company causes on the environment by providing recommendations on the consumption of millions of people. The disregard for the environment can have serious consequences for the companies and their reputation. On the other side of this equation are governments of several countries trying at the same time to keep their companies competitive against the global marketplace while still making the most of taxation to increase revenue. The objective of this essay is to evaluate the impact of ICMS on CO2 emissions in the logistics network of a seed company operating throughout Brazil. A case study was conducted for data collection and operational research to determine the results. The study details the values of several lines as production costs, freight and storage, comparing results in a base scenario with ICMS and another without tax and shows a 5% increase in CO_2 emissions from freight transport, when the company in study draws his logistics network in a way to optimize operational costs including the ICMS.

Keywords: Network design. Network. Logistics. Operational Research. ICMS. Agrobusiness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Agrupamento dos fatores críticos 17
Figura 02 - Modelo cobrança de impostos.....23
Figura 03 – Alíquota ICMS por origem e destino..... 25
Figura 04 – Resumo da literatura 27
Figura 05 – Demanda por cidade..... . 33
Figura 06 – Representação da demanda esperada até 2030..... . 34
Figura 07 - Representação geográfica das fábricas atuais e propostas da empresa..... . 36
Figura 08 - Curva frete sul..... . 37
Figura 09 - Curva frete centro oeste 37
Figura 10 - Exemplo de cálculo fiscal 40
Figura 11 - Exemplo de cálculo de não acumulo de crédito 41
Figura 12 - Produção anual por planta 43
Figura 13 - Evolução anual dos custos modelo base 47
Figura 14 - Evolução da emissão de carbono por ano 49
Figura 15 - Produção modelo sem ICMS 50
Figura 16 - Custos modelo sem ICMS por ano 54
Figura 17 - Emissão CO_2 modelo sem ICMS 55
Figura 18 - Gráfico comparativo de produção..... . 57
Figura 19 - Comparativo de Fluxo atendimento Clientes (Outbound) 58
Figura 20 - Comparativo anual de custos 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Dados das instalações atuais 34
Tabela 02: Potenciais instalações 35
Tabela 03: Produção anual por planta 43
Tabela 04: Origens volume para clientes 44
Tabela 05: Envios das plantas por estado 45
Tabela 06: Representatividade do atendimento por estado 46
Tabela 07: Volume de movimentações Inbound 46
Tabela 08: Custos modelo base 47
Tabela 09: Representatividade de custos modelo base 48
Tabela 10: Emissão de carbono total modelo base 48
Tabela 11: Produção modelo sem ICMS 50
Tabela 12: Distribuição modelo sem ICMS 51
Tabela 13: Venda de cada planta por estado 52
Tabela 14: Distribuição no mesmo estado modelo sem ICMS 53
Tabela 15: Custos modelo sem ICMS 53
Tabela 16: Representatividade % de custos modelo sem ICMS 54
Tabela 17: Emissão de Carbono modelo sem ICMS 55
Tabela 18: Comparativo de produção 56
Tabela 19: Comparativo de Fluxo atendimento Clientes (Outbound) 58
Tabela 20: Comparativo de fluxo de atendimento clientes por estado 59
Tabela 21: Comparativo de atendimento dentro do mesmo estado 60
Tabela 22: Comparativo de fluxos inbound 60
Tabela 23: Representatividade de custos 60
Tabela 24: Comparativo de emissão CO_2 62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 AREA DE CONHECIMENTO 12
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA 12
1.3 QUESTÃO DE PESQUISA 13
1.4 OBJETIVO GERAL 14
1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS 14
1.6 JUSTIFICATIVA 14
1.7 MÉTODO 15
1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO 15
2 REVISÃO DA LITERATURA 16
2.1 MODELAGEM DE MALHA LOGÍSTICA 16
2.2 MODELAGEM EM AGRONEGÓCIOS 18
2.3 EMISSÃO DE CARBONO 19
2.3.1 Método top-down 21
2.3.2 Conteúdo de carbono 22
2.3.3 Emissões de CO_2 22
2.4 MODELAGEM DE IMPOSTOS 22
2.4.1 **Convênio** 24
2.5 RESUMO DA TEORIA 26
3 **MODELO PROPOSTO** 28
3.1 MODELO MATEMÁTICO 29
3.2 DADOS DO PROBLEMA 32
3.2.1 Produto 32
3.2.2 Clientes 32
3.2.3 Instalações 34
3.2.4 Custos de transportes 36
3.2.5 Custo inventário 38
3.2.6 Modelagem fiscal 38
4 RESULTADOS 42
4.1 MODELO BASE (COM ICMS) 42
4.1.1 Análise Produção 43
4.1.2 Análise Fluxos Outbound (das plantas aos clientes) 44

4.1.3 Análise Fluxos inbound (das plantas aos centros de distribuição) 46
4.1.4 Análises financeiras 46
4.1.5 Emissão de Carbono 48
4.2 MODELO SEM ICMS 49
4.2.1 Análise de produção modelo sem icms 50
4.2.2 Análise Fluxos Outbound (das plantas aos clientes) modelo sem icms 51
4.2.3 Análise Fluxos inbound (das plantas aos centros de distribuição) Modelo sem ICMS 53
4.2.4 Análises financeiras 53
4.2.5 Emissão de Carbono modelo sem ICMS 55
4.3 COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS 55
4.3.1 Comparativo de produção 56
4.3.2 Comparativo Fluxos outbound 57
4.3.3 Comparativo Fluxos INBOUND 60
4.3.4 Comparativo Financeiro 60
4.3.5 Comparativo de emissão CO2 61
5 **CONCLUSÃO** 63
5.1 PESQUISAS FUTURAS 65
REFERÊNCIAS 66

1 INTRODUÇÃO

O papel da localização das instalações dentro de uma rede de suprimentos é de considerável importância para organizações e academia. Chopra e Meindl (2003) e Daskin (2011) descrevem o fundamento das análises de instalações na cadeia de suprimentos, elencando os fatores de estudo e influência para as tomadas de decisão, bem como os possíveis modelos adotáveis diretamente alinhados com as estratégias definidas. Com variáveis cada vez mais complexas e não apenas financeiras, mas também sociais e ambientais, o estudo de malha logística se torna um diferencial competitivo crucial em qualquer área de negócios, principalmente em um país como o Brasil com deficiências de infraestrutura e mercado em crescimento.

O Brasil tem dimensões continentais e condições bastante complexas para se fazer negócio, ocupando a posição de número 109 no ranking de melhores países para se fazer negócios no relatório Doing Business do Banco Mundial (2018). Mesmo assim, desperta interesse em muitos investidores ao redor do mundo, devido ao seu potencial consumidor, bem como ao seu mercado produtor agrícola com condição climática privilegiada no cultivo de diversas culturas, como soja, algodão, milho, entre outros, durante quase todos os meses do ano. Alguns autores (BROWN, 2001; MEDINA *et al.*, 2015) consideram o Brasil a "fazenda" do mundo, capaz de alimentar muitos países com escassez de recursos naturais.

Até os anos 1990, era praticamente impossível realizar comércio entre países muito distantes em larga escala devido aos elevados custos logísticos. Porém, com a melhoria nas tecnologias de transporte, a competição comercial entre países se tornou mais acirrada. Nesse cenário, para aumentar a exportação, diversos países iniciaram um processo de reformulação tributária, visando a reduzir custos e a atrair capital estrangeiro (DREHER, 2006).

Outro fator emergente é a constante preocupação da sociedade com o meio ambiente e, em especial, com o aquecimento global. Em 2010, durante a Conference of the Parties (COP 16) e da United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC), os países acordaram, pela primeira vez, manter o aumento da temperatura média global a 2°C acima dos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2010). Em 2015, durante a COP 21, foi firmado o Acordo de Paris, tratado que estabelece um compromisso mais rigoroso para restringir o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2015).

Considerar fatores sociais, ambientais e econômicos em um modelo de otimização é fundamental para que os resultados financeiros possam ser implementados. Sem a análise

detalhada de todos os aspectos que compõem o problema, corre-se o risco de inviabilizar a implementação dos projetos de mudança propostos, seja por pressão da sociedade, seja por fatores legais, concorrenciais ou ainda outros (CROXTON; ZINN, 2005).

1.1 AREA DE CONHECIMENTO

Empresas precisam de uma área de logística eficiente, pois, com frequência, têm como missão definir o local das plantas de modo a reduzir os custos de seus produtos desde sua origem até chegar a clientes geograficamente dispersos. Diante da competição crescente, as companhias enfrentam o desafio contínuo de reconfigurar seus sistemas logísticos e suas estratégias para reduzir custos e melhorar os níveis de serviço aos clientes (RAMEZANI *et al*., 2013). Nesse sentido, os modelos de otimização têm sido, ao longo do tempo, uma ferramenta de utilidade na definição da rede, minimizando custos totais.

As variáveis tradicionalmente consideradas nesses modelos são custos de estoque e de transporte, bem como custos fixos e variáveis de armazenagem e produção. Além desses, os impostos têm se mostrado relevantes em vários cenários e estudos no Brasil (YOSHIZAKI, 2002; FRIAS *et al.*, 2014).

O ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) influencia os custos totais da rede logística por meio do chamado "turismo fiscal", seja pela sonegação (YOSHIZAKI *et al.*, 2012), seja pelos incentivos fiscais, como o crédito presumido (SILVA, 2007) ou o incentivo de longo prazo (MALUF JUNIOR, 2015). Sendo assim, a localização de um centro de distribuição ou planta de produção em uma determinada região diferente daquela em que o produto será consumido pode ter incentivo de ICMS suficiente para compensar o aumento dos custos de transporte (FRIAS *et al*., 2014).

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Há uma vasta literatura a respeito de projetos de malha logística (ZINN, 1989; BALLOU, 2001; DASKIN, 2011, entre outros). Todavia, poucos se dedicam a avaliar impostos como o ICMS brasileiro. Além disso, pela revisão da literatura, não foi possível encontrar qualquer trabalho relacionando impostos a impactos ambientais.

Muitos estudos comprovaram a importância do ICMS no desenho de malha logística dentro do Brasil, como, por exemplo, Yoshizaki (2002), que estudou a influência do ICMS sobre a localização de centros de distribuição para indústria de bens de consumo não duráveis

do tipo encontrado no comércio de autosserviço. Frias *et al.* (2013) pesquisaram como o ICMS impacta o posicionamento de instalações em uma indústria petroquímica. Já Silva (2007) construiu um modelo matemático para otimização da distribuição física de uma indústria que produz bens de consumos não duráveis, baseado no benefício do crédito presumido de ICMS. No entanto, não há estudos relacionando o ICMS a impactos ambientais como desmatamento, danos à fauna ou emissões de gases do efeito estufa.

Ademais, embora as empresas tentem reduzir custos de Impostos (ICMS), transitando com seus produtos por diversos estados, há uma preocupação crescente no mundo com as emissões de carbono. Segundo Jabali *et al.* (2012), em todo o planeta, as organizações se veem forçadas, seja por pressão dos consumidores seja por legislações, a reduzir suas emissões de carbono. O aspecto ambiental tem potencial de mudar a maneira como a modelagem de malha logística tem sido tratada, incluindo, nos últimos anos, essa importante variável.

Acrescente-se que, conforme Longo (2012), sob o aspecto de sustentabilidade, é importante um estudo de malha entender os impactos financeiros nas redes de suprimentos, de forma a equilibrar os custos operacionais com as emissões de CO_2 sem negligenciar o nível de serviço ao cliente.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

Levando-se em consideração a atenção da sociedade atual com a responsabilidade ambiental, a busca incessante das empresas por reduzir custos e maximizar lucros, além de estados preocupados com a arrecadação fiscal paralelamente à competitividade das empresas em seus territórios, este trabalho propõe as seguintes questões de pesquisa:

a) Quais impactos a legislação do ICMS estaria causando na emissão de CO_2em um projeto de malha logística de uma empresa no setor de agronegócios?
b) Como seria um modelo matemático de otimização de malha logística com a inclusão de ICMS em acordo com a legislação específica para agricultura?

1.4 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é avaliar o impacto do ICMS nos custos logísticos e na emissão de CO_2 em um projeto de malha logística de uma empresa no mercado de agronegócios, procurando identificar potenciais benefícios ou efeitos colaterais em múltiplos aspectos, tais quais econômicos, sociais e ambientais. Nesse estágio de pesquisa, um projeto de malha logística é definido como a busca pelo posicionamento ótimo de instalações de uma cadeia de suprimentos visando a maximizar sua rentabilidade.

1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

a) Avaliar a relação entre ICMS e emissão de CO_2 devido ao "turismo fiscal";
b) Apresentar modelos de desenho de malha logística com e sem ICMS para entender outros possíveis impactos (como aumento de frete, por exemplo);
c) Oferecer uma análise matemática de possíveis efeitos colaterais que legislações tributárias podem ter quando geram uma competição entre estados de uma mesma nação.

1.6 JUSTIFICATIVA

O trabalho está alinhado a uma tendência atual de incorporação em modelos de otimização fatores como preservação ambiental e impactos sociais. No Brasil, um país com forte viés agrícola, a agricultura e o agronegócio contribuíram, em 2017, com 23,5% do Produto Interno Bruto (PIB), a maior participação em 13 anos, segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). Esse resultado reforça a importância de uma análise mais profunda dos custos no mercado agrobrasileiro.

Somando a vocação agrícola brasileira à crescente preocupação com o aquecimento global e emissão de carbono na atmosfera, este estudo se mostra relevante para empresas e sociedade em geral, pois pode contribuir para possam ser avaliadas políticas públicas para concessão de benefícios fiscais ou para otimização de custos logísticos ao longo da cadeia de suprimentos.

O trabalho também pode ser usado de referência para aqueles que têm interesse em entender a ordem de grandeza dos impactos dos impostos no desenho de malha de produtos de

uso agrícola pertencentes ao Convênio 100, conjunto de normas específicas para o mercado agro e que regula o valor da alíquota de ICMS intra e interestadual.

1.7 MÉTODO

Este estudo foi realizado com método quantitativo de pesquisa operacional, a partir de dados de um estudo de caso de uma empresa real de sementes de soja com representatividade em todo território nacional. Os custos fiscais e a preocupação ambiental são relevantes para o modelo de negócios da organização. Foram comparados os cenários de custos logísticos e emissões CO_2 sem e com os custos fiscais do ICMS. Para validar sua efetividade, o modelo será aplicado e seus resultados discutidos de forma a demonstrar sua eficácia.

O método será detalhado no capítulo específico de metodologia.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é estruturado da seguinte forma: a introdução traz uma visão geral do tema e a demonstração da relevância do assunto para a academia e sociedade em geral. Também na introdução são formuladas as questões de pesquisa e os objetivos. O capítulo 2 apresenta a revisão da literatura, seção em que são referenciados autores que fizeram contribuições importantes aos temas propostos pelo trabalho, como modelagem de malha, custos fiscais, agronegócios entre outros. O capítulo seguinte dedica-se a detalhar o modelo matemático, suas premissas e variáveis. Esse modelo proposto foi construído para servir de bases às conclusões do estudo. O capítulo 4 apresenta os resultados do modelo e seus principais pontos de reflexão. A conclusão fecha o estudo, trazendo um resumo de como foram endereçados o objetivo e as questões de estudo que motivaram a presente dissertação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura abordará estudos que contribuem para as áreas de conhecimento específicas, como modelagem de malha logística, modelagem fiscal, de carbono e operações específicas para empresas de agronegócios.

2.1 MODELAGEM DE MALHA LOGÍSTICA

Conforme Croxton e Zinn (2005), a otimização é reconhecida por especialistas na área logística como uma importante ferramenta para desenho e modelagem de malhas. É usada para tomada de decisão em muitas situações, como número, localização e tamanho de armazéns e linhas de produção.

Ainda, de acordo com Ballou (2001), em um redesenho de malha logística, é possível se conseguir economias entre 5% e 15% dos custos totais, além de aumentar o nível de serviço. Situações como aquisições, entrada em novos mercados, variações na demanda, necessidade de expansão de capacidade produtiva ou logística podem ser gatilhos para que empresas repensem sua distribuição.

Desde o início dos anos 1970, pesquisadores têm se dedicado à modelagem de malhas logísticas otimizadas, mas, no princípio, consideravam apenas custos entre as origens e os clientes. Este tipo de modelo, naquele momento, era capaz de prover respostas como: qual(is) cliente(es) deve(m) ser atendidos de determinadas origens (CROXTON; ZINN, 2005). Aos poucos, novas variáveis foram introduzidas nos modelos logísticos, tais como custos fixos, custos de chegada de matérias primas, inventários armazenados e em trânsito, tempo de chegada ao cliente, distância percorrida, entre outros (DASKIN, 2011). Em um mercado de alta competitividade, a redução de qualquer custo pode significar sobrevivência ou não de uma determinada companhia. Nesse contexto, mesmo a escolha do modal logístico correto pode fazer diferença em termos de custo. Ao optar por navio, trem ou carretas, por exemplo, as empresas se valem de diversos benefícios, como maior segurança no transporte, menor índice de avarias e custos mais baixos, ou riscos, tais quais, maior emissão de carbono, aumento dos congestionamentos, etc. (ZHANG *et al.*, 2017)

A gestão de estoque também passou a ser considerado de importância conforme o avanço tecnológico permitiu calcular. Modelos, como o proposto por Hamadet *et al.* (2011), que calculam o custo de inventário através da cobertura de estoque, ou de Croxton e Zinn (2005), que usam o estoque de segurança e o tempo de armazenagem em múltiplos centros de

distribuição, passaram a contribuir com novas variáveis ao conceito de desenho de malha logística.

Outro fator adicionado aos desenhos de malha logística que têm sido observados é a análise de múltiplos objetivos. Este tipo de modelo é usado quando a redução dos custos total ou a maximização do lucro não são suficientes para propor soluções a diversas restrições enfrentadas pelas empresas de diversos setores, sejam, sociais, ambientais ou mesmo de processos (PELET *et al.*, 2005). A Figura 1 faz um resumo dos fatores críticos para a modelagem de uma malha logística, agrupando-os em categorias específicas de acordo com sua característica de análise.

Quadro 1 – Agrupamento de fatores críticos

Grupo	Fator crítico	
Características do produto	· Densidade do produto · Relação peso-volume cúbico · Ciclo de vida do produto · Nível de competição · Características do produto ABC · Tipo de produto	· Variedade de produto · Preço do produto · Substituibilidade · Margem do produto · Validade do produto · Características de manuseio do produto
Requisitos do serviço	· Tempo de ciclo · Frequência de entrega · Peso médio de embarque · Volume médio de embarque · Fill rate do item · Capacidade do veículo	· Experiência do cliente · Visibilidade do pedido · Devolução · Tempo de reabastecimento · Capacidade do veículo
Características da demanda	· Nível da demanda · Volatilidade da demanda · Densidade da demanda	· Densidade do cliente · Número de clientes · Sazonalidade
Características da cadeia	· Capacidade de produção · Distância entre nós · Tamanho do lote de produção · Limitações de matéria-prima · Economia de escala	· Flexibilidade da produção · Lead time da produção · Número de fornecedores · Localização dos fornecedores
Variáveis econômicas	· Restrições legais · Taxas e impostos	
Variáveis econômicas	· Infraestrutura existente · Disponibilidade do modal de transporte · Taxa de juros	
Variáveis ambientais	· Emissão de material particulado · Emissão de CO2	

Fonte: Autor "adaptado de" Mangiaracina, Song e Perego, 2015, p. 521.

Nem todos os fatores críticos participam diretamente do cálculo de otimização. A densidade do produto, por exemplo, embora não seja uma variável aplicada ao modelo, é importante para calcular o custo de frete e armazenagem. O fator emissão de carbono é tratado no presente estudo como uma variável independente; ela não será inclusa como restrição ou custo de qualquer natureza. Ou seja, a otimização acontecerá sem interferência dessa variável. Apenas após a apuração do resultado do modelo o fator carbono será aplicado, baseado na quilometragem percorrida pela malha, tornando possível calcular seu impacto alterando outras variáveis do modelo.

2.2 MODELAGEM EM AGRONEGÓCIOS

No agronegócio, outras variáveis devem ser consideradas, como clima e adaptação do solo ou região do produto a ser cultivado. Por ser um mercado altamente regulado, mesmo as restrições de alguns países a produtos químicos e transgênicos pode interferir no desenho de malha logística para empresas desse setor (BASSETT; GARDNER, 2013).

Empresas multinacionais têm grande participação no mercado agroglobal. Para otimizar recursos, o modelo mais comum escolhido por essas empresas é centralizar a produção de ingredientes ativos para agrodefensivos, pesquisa em alguns poucos pontos ao redor do mundo e industrialização dos produtos finais localmente próxima ao consumo. Com isso há um considerável ganho na lucratividade e melhor utilização dos recursos industriais (BASSETT; GARDNER, 2013).

Ademais, agronegócio é por essência um tema que envolve a sociedade como um todo e muitos pontos, além dos financeiros, devem ser ponderados antes de uma decisão de abrir ou não uma fábrica ou centro de distribuição. Além dos itens já citados, aspectos sociais, ambientais e de uso da terra também devem estar na mente de quem se propõe a otimizar malhas logísticas neste segmento de mercado (GROOT *et al.*, 2010).

Segundo dados da Organização Mundial do Comércio, divulgados em seu relatório anual, em 2019, o Brasil é o segundo maior exportador de alimentos do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos. Com faturamento anual de 79 bilhões de dólares, a representação do Brasil na exportação mundial de alimentos foi de 5.3%. A agricultura, portanto, tem sido a base da economia brasileira. Apenas para efeito de comparação, segundo relatório da Organização Mundial do Comércio, em 2018, o Brasil exportou no total 239 bilhões de dólares. Ou seja, apenas o agronegócio com os 79 bilhões representou um terço de toda a exportação brasileira em 2018.

Em torno de 30% do território total do país é usado como terra cultivável. O Brasil é o maior exportador mundial de soja, café, carne de vaca e cana de açúcar. Segundo estimativa da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o agronegócio representou, em 2016, 23,6% do produto interno bruto brasileiro. Ainda segundo a CNA, a tendência é de crescimento desse percentual para os próximos anos. Diante desses números, fica evidente a importância desse setor para o desenvolvimento da economia do Brasil.

2.3 EMISSÃO DE CARBONO

Segundo Longo (2012), outra característica importante do desenho de malha logística moderno em todos os segmentos de negócios é a preocupação com o meio ambiente, em especial onde o desenho de malha tem mais impacto que é a emissão de carbono.

Reduzir ou aumentar emissões de carbono tem relevância para a sociedade em geral. Atualmente, as empresas têm buscado essa redução na maioria das vezes voluntariamente. Entretanto, com iniciativas de governos ao redor do mundo, como o protocolo de Kyoto que exige uma redução de pelo menos 5,2% sob a base de emissão de 2012 dos seis maiores emissores do mundo, não é improvável que legislações surjam obrigando todos os agentes da sociedade a contribuir (JABALI *et al.*, 2012).

Em se tratando de emissão de CO_2, empresas e sociedade podem contribuir para a redução de diversas maneiras, como mudança no plano energético, substituindo geradores a diesel por energia solar, por exemplo, ou usando racionalmente os recursos disponíveis, evitando consumo desnecessário de energia (PELET *et al.*, 2005).

Outra maneira é reduzir o tráfego de veículos, seja otimizando cargas para uma maior ocupação dos veículos e diminuindo a quantidade de viagens necessárias, seja tornando as viagens mais curtas e aproximando a matéria-prima e a produção dos consumidores finais.

Todos os casos devem ser avaliados e tanto seus custos quanto as restrições podem ser calculados em um modelo matemático com múltiplos objetivos a fim de embasar uma decisão que traga a solução ótima em termos de custo, mas também com menor impacto ambiental (PELET *et al.*, 2005)

Como descrito no tópico de modelagem no agronegócio, multinacionais neste mercado produzem de maneira centralizada em poucos países e abastecem o restante do globo. Com esse modelo de negócio, o modal logístico escolhido para movimentar os produtos por

grandes distâncias, aéreo ou navio, por exemplo, ou a velocidade desses veículos durante a viagem tem impacto substancial na emissão de CO_2 (JABALI *et al*., 2012).

As emissões de carbono não serão otimizadas no modelo atual, porém a quantidade emitida precisa ser calculada para viabilizar a comparação dos cenários com ICMS e sem. O modelo adotado para cálculo de emissões de carbono é o proposto pelo IPCC (International Panel of Climate Control).

Segundo o relatório do IPCC *"Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Green house Inventories – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Green house Gas Inventories"*, o CO_2 é responsável por mais de 97% das emissões totais de Gases Efeito Estufa (GEE) de fontes móveis.

Os especialistas do IPCC julgam que a incerteza dos cálculos para esse gás é da ordem de 5%, oriunda principalmente da operação, mais do que das imprecisões nos fatores de emissão (ÁLVARES; LINKE, 2011).

Dessa forma, por sua predominância e incertezas inerentes a esses cálculos, pela simplicidade e relativa confiabilidade do método, considera-se como boa prática, na elaboração de inventários de GEE, a estimativa das emissões baseada somente nos dados relativos a CO_2. Entretanto, devem ser sempre levadas em consideração as diferenças entre a composição dos combustíveis automotivos utilizados no Brasil - especialmente para veículos a gasool (gasolina do tipo C com 22 a 25% de etanol anidro) e etanol hidratado puro - e a dos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Estados Unidos, de onde se originam os fatores de emissão do IPCC (ÁLVARES; LINKE, 2011)

2.3.1 Método top-down

<u>Conversão para unidade comum</u>

A estimativa das emissões de GEE pelo método "top-down " prevê a conversão de todas as medidas de consumo de combustível para uma unidade comum, o Terajaule:

$$CC = CA \times Fconv \times 45{,}2 \times 10^{-3} \times Fcorr$$

onde,tEP(Brasil) = 45,2 x 10^{-3}TJ (tera-joule = 1012 J); (1)

CC = consumo de energia em TJ;

CA = consumo de combustível (m3, l, kg);

Fconv = fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP, com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível (valores podem variar de ano para ano, de acordo com a publicação anual do BEN pelo MME www.mme.gov.br). Os valores do ano 2016 dos Fconv são: gasolina (0,771 tEP/m3); álcool anidro (0,520 tEP/m3); álcool hidratado (0,496 tEP/m3); **diesel (0,848 tEP/m3);** gás natural seco (0,857 tEP/103m3);

Fcorr = fator de correção de PCS para PCI (poder calorífico inferior). Para o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI. **Para combustíveis sólidos e líquidos, o Fcorr = 0,95** e para combustíveis gasosos, o Fcorr = 0,90

A malha em estudo utiliza apenas caminhões movidos a disel com um consumo médio de 3,5km/l ou 0,2857l/km. Assim, o cálculo seria:

$$CC = 0{,}2857 \text{ l/km} \times 0{,}848 \times 45{,}2 \times 10^{-3} \times 0{,}95 \qquad (2)$$

$$CC = 0{,}01040 \text{ Tj/km}$$

2.3.2 Conteúdo de carbono

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser calculada conforme segue:

$$QC = CC \times Femiss \times 10^{-3} \text{ onde,}$$

$$QC = \text{conteúdo de carbono expresso em GgC;} \qquad (3)$$

$$CC = \text{consumo de energia em TJ;}$$

Femiss = fator de emissão de carbono (tC/TJ).

Os valores do IPCC, 1996, e MCT, 1999, dos Femiss são: gasolina (18,9 Tc/TJ); álcool anidro (14,81 Tc/Tj); álcool hidratado (14,81 Tc/Tj); **diesel (20,2 Tc/Tj);** gás natural seco (15,3 Tc/Tj); 10-3 = TC/GgC

$$QC = 0{,}01040 \text{ Tj/Km} \times 20{,}2 \text{ Tc/Tj} \times 10^{-3} \qquad (4)$$

QC= 2,10 x 10^{-4} GgC/Km

2.3.3 Emissões de CO_2

Finalmente, as emissões de CO_2 podem ser calculadas de acordo com a expressão abaixo, lembrando que, em função dos respectivos pesos moleculares, 44t CO_2 corresponde a 12t de C ou:

ECO_2 = QC x 44/12 onde,

ECO_2 = emissão de CO_2; (5)

QC = emissão de C.

E^{CO_2}= 2,10 x $^{10^{-4}}$ GgC/Km X44/12

E^{CO_2} = 7,7 X $^{10^{-4}}$ T/km

Sendo o ECO_2 o valor que foi aplicado para cada quilometro percorrido pelos veículos da empresa.

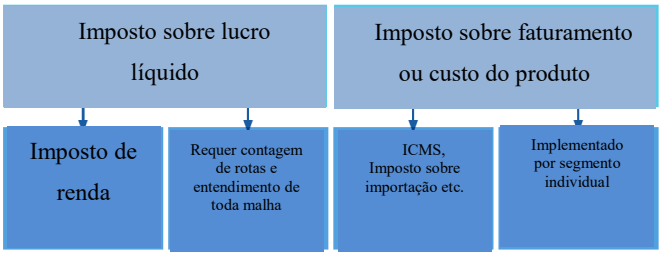
2.4 MODELAGEM DE IMPOSTOS

Assim como em qualquer lugar do mundo, para fazer negócios no Brasil, empresas precisam se submeter à legislação local em todos os sentidos, trabalhista, legal e tributária.

A tributação deve ser avaliada não só no presente, mas também ao longo tempo para garantir que potenciais benefícios de curto prazo não aumentem muito os custos operacionais no futuro. Além disso, empresas devem estar atentas a qualquer mudança nas regras de arrecadação, sendo recomendado fazer simulações de impacto tributário sempre que mudanças acontecerem no mercado nacional ou mesmo nas regras de comércio exterior (ALTIG *et al*., 2001).

A ilustração 2 mostra as formas como impostos podem ser cobrados em diversos países, normalmente sobre o lucro líquido, sobre o custo ou faturamento.

Quadro 02 - Modelo cobrança de impostos



Fonte - Llamasoft tax modeling manual, 2017

Países desenvolvidos, em regra, têm uma carga maior sobre a renda tanto de pessoas físicas quanto jurídicas. Já em países em desenvolvimento, há uma tendência para a tributação sobre o consumo ou prestação de serviço.

O Brasil, ao longo de décadas, tem promovido um modelo fiscal com variações de cobrança por estado em diversos impostos, sendo um exemplo o ICMS, que hoje representa o principal meio de arrecadação estadual no país. Tal modelo gera o fenômeno conhecido entre os especialistas tributários como a "Guerra Fiscal", em que cada estado promove diferentes benefícios e alíquotas gerando uma competição interna por arrecadação. Esse fenômeno pode ser visto em diversas áreas de negócios e, até 2012, um exemplo era a disputa entre os portos para o recebimento de produtos importados que gerava um descompasso entre os pontos de demanda e os locais de entrada de mercadorias no país (MALUF JUNIOR, 2015).

A legislação determina que qualquer isenção, crédito presumido, redução de base de cálculo e outros favores fiscais somente poderão ser concedidos por um Estado depois da aprovação unânime do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), formado por representantes de todas as unidades da Federação. Essa determinação, no entanto, vinha sendo desrespeitada por boa parte dos Estados, com o objetivo de atrair novas atividades econômicas para seu território.

De acordo com matéria do Estado, 2013, a guerra dos portos transformou-se em uma das práticas comuns da guerra fiscal exercida por alguns Estados contra outros. Por meio dela, Estados por onde entram produtos importados concediam benefício fiscal, reduzindo para 4% a alíquota do ICMS. Nas operações interestaduais, o ICMS é dividido entre o Estado de origem e o de destino. Estados da Região Sudeste, por exemplo, cobram 12% de ICMS. Nessas operações, empresas beneficiadas pela redução de imposto podiam contabilizar créditos no Estado de origem, como se tivessem recolhido o tributo pela alíquota cheia (sem desconto) e descontá-los no Estado de destino. Pagavam menos tributos e obtinham uma vantagem competitiva desleal sobre as empresas do Estado de destino.

Com o objetivo de extinguir as vantagens obtidas pelos Estados que praticavam essa modalidade de guerra fiscal, o Senado aprovou, em 2012, a Resolução n.º 13, que fixou em 4% a alíquota do ICMS nas operações interestaduais com bens e mercadorias importados. A medida, que entrou em vigor em 2013, elimina um elemento artificial que distorcia as decisões sobre os portos por onde é melhor importar bens e mercadorias. Com isso, os importadores voltam a optar por portos mais bem equipados, que ofereçam preços mais competitivos e que, do ponto de vista logístico, lhes sejam os mais adequados (ESTADO, 2013).

No caso das empresas do setor de agronegócios, o CONFAZ aprovou, em 1997, o benefício do Convênio 100, em vigor até o presente momento, com redução de 60% no ICMS de produtos e serviços agrícolas nas movimentações interestaduais, e de 100% para movimentações dentro do próprio estado.

Essa aprovação é importante porque a Constituição Federal de 1988 manteve a proibição de que Estados, Distrito Federal e Municípios concedessem qualquer diferença tributária entre bens ou serviços em razão de sua procedência ou destino. Todavia, tendo consciência de que o Brasil, com grandes desigualdades regionais, necessita muitas vezes de incentivos direcionados, permitiu à União, e tão somente à esta, que concedesse incentivos fiscais aplicáveis a determinadas operações ou contribuintes, desde que no intuito de promover o equilíbrio do desenvolvimento socioeconômico entre as diferentes regiões do país.

O modelo de cálculo utilizado para apuração do ICMS considera a legislação tal qual o Ministro de Estado da Fazenda e os Secretários de Fazenda, Finanças ou Tributação dos Estados e do Distrito Federal decretaram, na 35ª Reunião Extraordinária do Conselho Nacional de Política Fazendária, realizada em Brasília, DF, no dia 4 de novembro de 1997.

2.4.1 Convênio

Um Convênio é definido como normas complementares às leis, celebrados entre a União, Estados, Distrito Federal e os Municípios previstos pelo artigo 100, inciso IV do Código Tributário Nacional (CTN). Uma vez firmado, um Convênio deve ser, ratificado (ou não) pelas Assembleias Estaduais dos estados envolvidos.

O CONFAZ tem como responsabilidade promover a celebração de Convênios para concessões ou revogações de isenção ou benefícios fiscais no ICMS. O Conselho é formado por um representante de cada Estado e Distrito Federal e um representante do Governo

Federal e é no CONFAZ que as regras para regulação do ICMS entre estados são discutidas. Nesse contexto, em 1997, foi aprovado pelo CONFAZ o Convênio de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) 100/97, que reduz em 60% a alíquota do imposto interestadual e 100% da alíquota intraestadual na compra de insumos e componentes agrícolas. A figura 3 mostra a alíquota de ICMS que seria aplicada caso o Convênio 100 não fosse promulgado.

Quadro 03 - Alíquota ICMS por origem destino

Alíquota Interna ICMS	DESTINO																										
ORIGEM	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	

Fonte: Autor “adaptado de” Legislação Tributária 1988

A legislação brasileira prevê duas alíquotas de ICMS para movimentações entre os estados:

a) 7% para origens do Sul e Sudeste do Brasil, com exceção do Espírito Santo, e destino a estados do Norte, Nordeste, Centro Oeste e Espírito Santo.
b) 12% em todas as demais transferências entre estados.

c) A alíquota interna varia de estado para estado entre 17% e 20%. Para exportação, o valor é fixo em 4% independente do estado.

Com a aplicação da cláusula primeira do Convênio 100, fica reduzida em 60% (sessenta por cento) a base de cálculo do ICMS nas saídas interestaduais de diversos produtos e insumos agrícolas, incluindo-se semente genética, semente básica, semente certificada de primeira geração (C1), semente certificada de segunda geração (C2), semente não certificada de primeira geração (S1) e semente não certificada de segunda geração (S2), destinadas à semeadura, desde que produzidas sob controle de entidades certificadoras ou fiscalizadoras. Também incluem-se as sementes importadas, atendidas as disposições da Lei nº 10.711, de 05 de agosto de 2003, regulamentada pelo Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004, e as exigências estabelecidas pelos órgãos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento ou por outros órgãos e entidades da Administração Federal, dos Estados e do Distrito Federal, que mantiverem convênio com aquele Ministério.

Já a cláusula terceira especifica que ficam os Estados e o Distrito Federal autorizados a conceder às operações internas com os produtos relacionados nas cláusulas anteriores redução da base de cálculo ou isenção do ICMS, observadas as respectivas condições para fruição do benefício, sendo convencionado 100% de redução por todos os estados.

2.5 RESUMO DA TEORIA

Este trabalho fará a concatenação dos temas otimização de custos na Malha Logística, Agronegócios, redução da emissão de CO_2 e custos de ICMS, baseando-se na literatura dos autores conforme Figura 04:

Quadro 04 - Resumo da literatura

Tema	Autores
Otimização de Malha Logística	(BALLOU, 2001); (CROXTON e ZINN, 2005); (DASKIN, 2011); (RAMEZANI et al., 2013).
Modelagem Malha Agronegócio	(GROOT et al., 2010); (BASSETT e GARDNER, 2013).
Otimização da Emissão de CO_2	(LONGO, 2012); (JABALI et al. 2012); (ÁLVARES, LINKE 2011).
Otimização de Malha Logística com ICMS	(YOSHIZAKI, 2002); (SILVA,2007); (FRIAS, et al., 2013)

Fonte: Autor

A tabela destaca apenas os principais autores por área de pesquisa. Obviamente muitos outros trabalhos foram consultados para basear o presente estudo. Toda a literatura pode ser vista no capítulo 6 Referências.

3 MODELO PROPOSTO

O modelo proposto neste estudo incorpora o custo de impostos no formato tradicional de modelagem de malha, procurando minimizar os custos variáveis de transporte, armazenagem, produção, inventário e custos fixos de fábricas e centros de distribuição, sujeitos a restrições de capacidade tanto de produção quanto de armazenagem, movimentação, demanda e fluxos balanceados. As emissões de carbono são calculadas pelo modelo por meio da distância percorrida pelos veículos com produto acabado entre as fábricas, centros de distribuição e clientes. O custo total da rede é composto pelas partes:

Custo Total= Custo de Produção+ Custo de Transporte inbound+ Custo de Transporte Outbound+ Custo de Armazenagem+ Custo de inventário+ Custo de Impostos

O Transporte inbound é entendido como as movimentações entre fábricas e centros de distribuição e a movimentação outbound é toda transferência que envolva o cliente, seja a partir das fábricas seja de centros de distribuição.

O custo de imposto do modelo é focado no ICMS cuja característica central é a não cumulatividade entre elos da cadeia, isto é, o valor arrecadado em um elo pode ser tomado como crédito no elo seguinte. Nessa situação, a cadeia de suprimentos da empresa em estudo precisa considerar o balanço entre os créditos de entrada contra os débitos de saída para evitar arrecadação adicional com impostos.

O modelo proposto pretende avaliar a malha de distribuição de uma empresa que comercializa sementes de soja em todo o território nacional, considerando-se o ICMS e a emissão de carbono de modo detalhado e apresenta um modelo de otimização matemática desenvolvido para avaliar cenários alternativos.

A seguir, estão descritas as variáveis conforme o modelo clássico de programação linear mista para o desenho de malha (ZINN; CROXTON, 2005), com acréscimo da parcela de ICMS conforme proposto por Frias *et al.* (2014).

3.1 MODELO MATEMÁTICO

Descrição dos índices do modelo:

j: índice das fábricas

k: índice dos armazéns

l: índice dos clientes

p: índice dos produtos acabados

h: índice do veículo

Descrição dos parâmetros do modelo (constantes):

F_j: custo fixo da fábrica *j*

V_j^p: custo variável da fábrica *j* para produzir um produto *p*

F_k: custo fixo do armazém *k*

V_k^p: custo variável do armazém *k* para receber, armazenar e expedir um produto *p*

T_{jk}^p: custo transporte de fábrica *j* para um armazém *k* de uma unidade do produto*p*

T_{kl}^p: custo transporte de armazém *k* para um cliente *l* de uma unidade do produto *p*

A_{jk}^p: custo ICMS no transporte do produto *p* entre uma fábrica *j* e um armazém *k*

A_{kl}^p: custo ICMS no transporte do produto *p* entre um armazém *k* e um cliente *l*

B^p : custo capital devido a inventário em estoque do produto acabado p

C_j^p: capacidade da fábrica *j* para produzir o produto *p*

C_k^p: capacidade do armazém *k* para armazenagem do produto *p*

D_l^p: demanda do produto *p* no cliente *l*

Descrição das variáveis do modelo:

$X_j^p \in \mathbb{R}+$ unidades do produto *p* produzidas na fábrica *j*

$X_k^p \in \mathbb{R}+$ unidades do produto *p* operadas pelo armazém *k*

$X_{jk}^p \in \mathbb{R}+$ unidades do produto *p* entregues da fábrica *j* para o armazém *k*

$X_{jl}^{p} \in \mathbb{R}+$ unidades do produto *p* entregues da fábrica *j* para o cliente *l*

$X_{kl}^{p} \in \mathbb{R}+$ unidades do produto *p* entregues do armazém *k* para o cliente *l*

$Y_{j}^{p} \in \{0,1\}$ variável binária que indica se a fábrica *j* é utilizada para produzir o produto *p*

$Y_{k}^{p} \in \{0,1\}$ variável binária que indica se o armazém *k* é utilizado para operar o produto *p*

Minimizar:

$$\begin{aligned}\sum_{p=1}^{v} \sum_{j=1}^{w} (F_j Y_j^p + V_j^p X_j^p) + \sum_{K=1}^{u} \sum_{p=1}^{v} \sum_{j=1}^{w} T_{jk}^p X_{jk}^p + \sum_{p=1}^{v} \sum_{j=1}^{w} (F_k Y_k^p + V_k^p X_k^p) \\ + \sum_{K=1}^{u} \sum_{p=1}^{v} \sum_{l=1}^{n} T_{kl}^p X_{kl}^p + \sum_{j=1}^{w} \sum_{p=1}^{v} \sum_{l=1}^{n} (T_{jl}^p X_{jl}^p + B^p) \\ + \sum_{k=1}^{u} \sum_{p=1}^{v} \sum_{j=1}^{w} A_{jk}^p X_{jk}^p + \sum_{K=1}^{u} \sum_{p=1}^{v} \sum_{l=1}^{n} A_{kl}^p X_{kl}^p \\ + \sum_{j=1}^{w} \sum_{p=1}^{v} \sum_{l=1}^{n} A_{jl}^p X_{jl}^p\end{aligned} \tag{6}$$

Sujeito a restrições:

$$\sum_{j=1}^{w} X_j^p = \sum_{k=1}^{u} X_{jk}^p \qquad \forall\ j = \{1,\ldots,w\},\ k = \{1,\ldots,u\},\ p = \{1,\ldots,v\} \qquad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{u} X_{jk}^p = \sum_{l=1}^{n} X_{kl}^p \qquad \forall\ k = \{1,\ldots,u\},\ l = \{1,\ldots,n\},\ p = \{1,\ldots,v\} \qquad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{w} X_{jl}^p + \sum_{l=1}^{n} X_{kl}^p = D_l^p \qquad \forall\ j = \{1,\ldots,w\},\ l = \{1,\ldots,n\},\ p = \{1,\ldots,v\} \qquad (9)$$

$$X_{ij}^m \leq C_i^m \qquad \forall\ i = \{1,\ldots,z\},\ m = \{1,\ldots,t\} \qquad (10)$$

$$X_j^p \leq C_j^p Y_j^p \qquad \forall\ j = \{1,\ldots,w\},\ p = \{1,\ldots,v\} \qquad (11)$$

$$X_{jk}^p \leq C_j^p Y_j^p \qquad \forall\ j = \{1,\ldots,w\},\ p = \{1,\ldots,v\} \qquad (12)$$

$$X_{kl}^p \leq C_k^p Y_k^p \qquad \forall\ k = \{1,\ldots,u\},\ p = \{1,\ldots,v\} \qquad (13)$$

$$X_{ij}^m, X_j^p, X_{jk}^p, X_{kl}^p \geq 0 \qquad \forall\ i, j, k \qquad (14)$$

$$Y_j^p \in \{0, 1\} \qquad \forall\ j, p \qquad (15)$$

$$Y_k^p \in \{0, 1\} \qquad \forall\ k, p \qquad (16)$$

A função objetivo (6) minimiza a soma dos custos fixos, variáveis e custos de transporte do fornecedor para a fábrica, da fábrica para o armazém/clientes e do armazém para os clientes. As restrições de (7) a (13) são restrições padrões do projeto de rede de distribuição para a manutenção do balanceamento do fluxo do fornecedor para a fábrica, da fábrica para o armazém e do armazém para o cliente. A restrição (14) garante a não negatividade das unidades de produto transportados e produzidos e as restrições (15) e (16) garantem que as variáveis Y_j^p e Y_k^p são inteiras e binárias e permitem a utilização (abertura) ou não (fechamento ou não abertura) das fábricas e armazéns, respectivamente. O software utilizado para a análise foi o SUPPLY CHAIN GURU X versão 1.3 da empresa Llamasoft.

Para comparar o volume de CO_2 emitido, foi utilizado um segundo modelo matemático, excluindo-se os custos de ICMS em todas as rotas. Todas as outras premissas, restrições e dados do modelo permaneceram inalterados, o que garante a comparação justa e exclusiva dos efeitos do ICMS sobre o projeto de rede.

3.2 DADOS DO PROBLEMA

Os dados utilizados foram divididos em: produtos, clientes, instalações, custos de transporte, inventário e custos fiscais

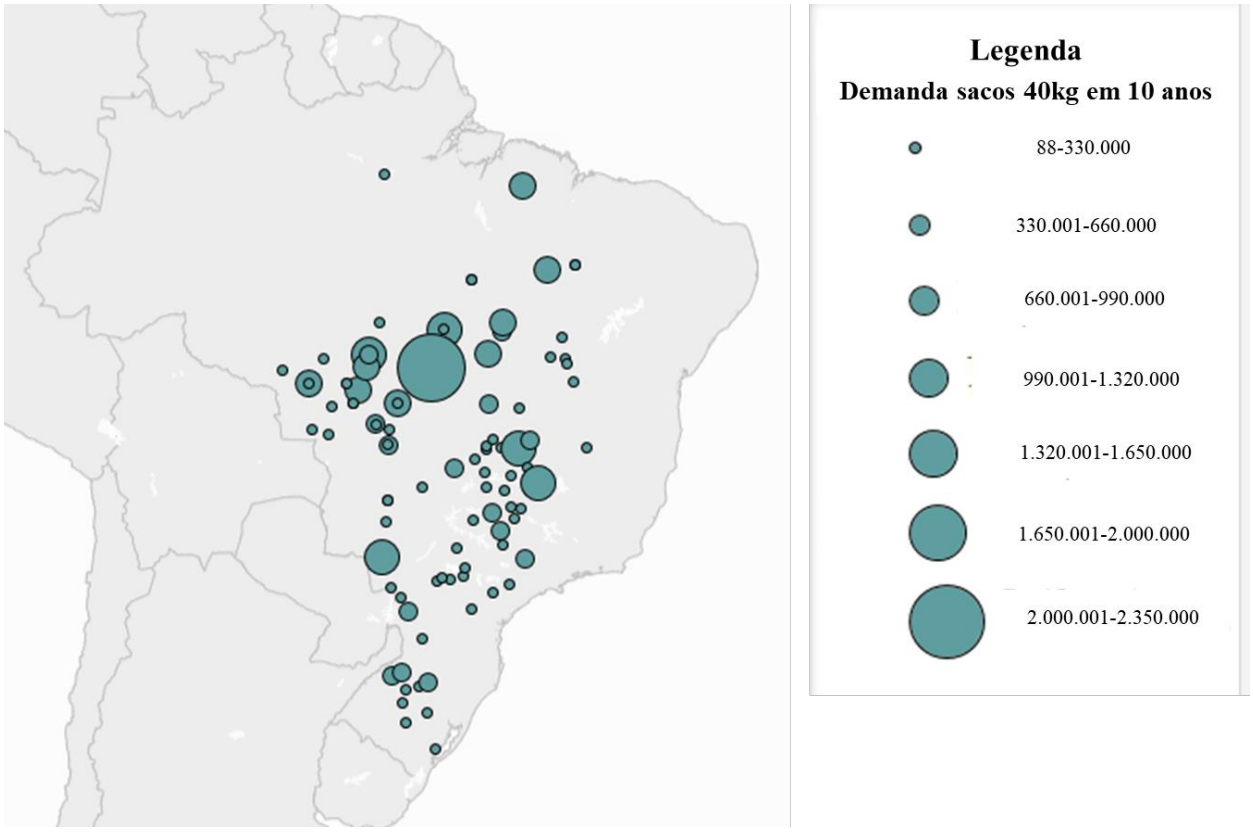
3.2.1 Produto

A unidade de medida para demanda é de sacos de 40kg de soja (a mesma usada internamente pela empresa em estudo). Todos os itens foram agrupados em duas famílias, Soja Branca (SB) e Soja Tratada (ST). O custo de produção de todas as variedades dentro do produto SB é absolutamente o mesmo e a ST é diferenciada apenas pela adição de um tratamento químico à semente já pronta, o que incrementa seus custos de produção. Outra característica importante das sementes de soja é que esse produto é perecível e não pode ser armazenado de uma safra para outra, ou seja, no modelo de rede de suprimentos adotado pela empresa não é possível considerar acúmulo de estoques de um ano para o outro.

3.2.2 Clientes

Para reduzir a complexidade e a necessidade de processamento, os clientes foram agrupados por cidades. Muitos autores, como Yoshizaki (2002), por exemplo, decidiram agrupar seus clientes por mesorregiões do IBGE, e assumiram o pressuposto de que a demanda é proporcional à densidade populacional. Esse procedimento não é correto no caso do mercado de sementes, já que a concentração de demanda não ocorre em regiões urbanas, mas sim em regiões agrícolas afastadas dos grandes centros, conforme mostra a Figura 05. Desse modo, a opção por agrupar clientes em cidades tem como objetivo ser fiel à realidade do mercado em estudo e garantir a melhor acuracidade dos dados.

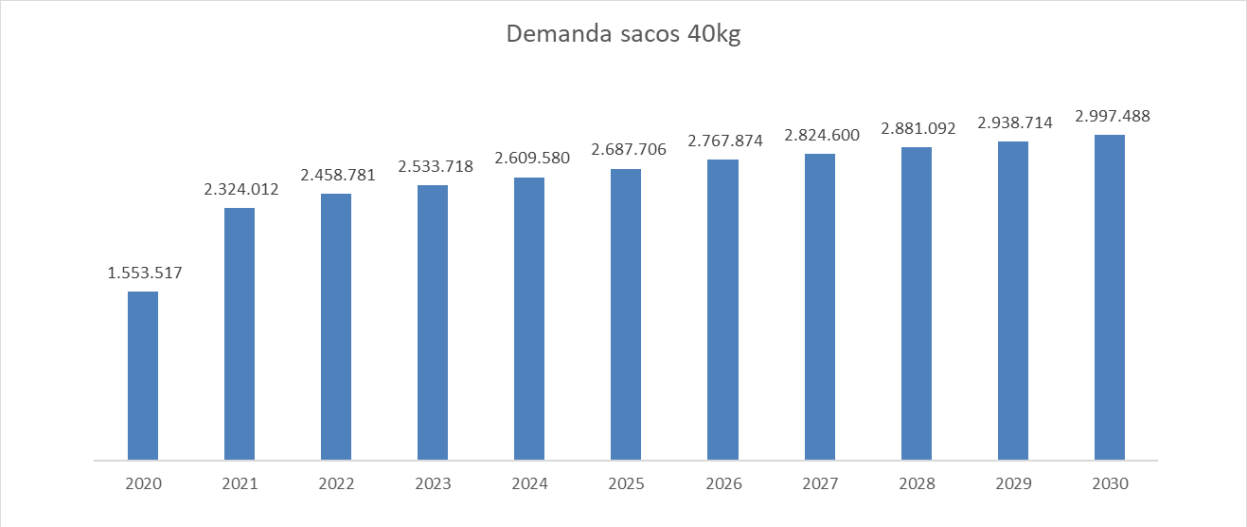
Figura 05 - Demanda por cidade



Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

O centro-oeste do país concentra 70% da demanda, sendo o estado do Mato Grosso o mais importante com aproximadamente 50% da demanda total por sementes de soja da empresa. Embora haja uma expectativa de crescimento de vendas até 2030, como mostra a Figura 06, não há regionalização desse crescimento, assim como também não foram realizados estudos de mercado que comprovem um potencial de crescimento maior em uma região em detrimento de outra. Para efeito deste estudo, foi considerado o crescimento linear com base na distribuição atual da demanda.

Figura 06: Representação da demanda esperada até 2030



Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Nota-se, na Figura 06, um crescimento acentuado da demanda, entre 2020 e 2021, que ocorre, segundo os entrevistados da empresa, devido ao aumento da importação da China de soja brasileira, causada pela guerra comercial entre esse país e os EUA, nos períodos posteriores a 2021. Como esse fator já está contemplado, o crescimento normal da demanda passa a ser mais moderado, em torno de 5%.

3.2.3 Instalações

As fábricas atuais de beneficiamento de sementes da empresa em estudo estão localizadas conforme mostra a Tabela 01:

Tabela 01 - Dados das instalações atuais

Número	Nome	Cidade	UF	Custo Fixo Annual (R$)	Custo Produção Variável (R$)	Cap. Produção
1	FAB_Dois Marcos	Cristalina	GO	260.000	98,5	1.700.000
2	FAB_São Joao	Sao Joao da Alianca	GO	260.000	82,0	300.000
4	FAB_Mutuca	Arapoti	PR	260.000	92,5	45.000
5	FAB_Grandespe	Tapera	RS	260.000	92,5	60.000
6	FAB_Ibera	Tibagi	PR	260.000	92,5	60.000
7	FAB_Vale dos Javaes	Formoso do Araguaia	TO	260.000	93,5	200.000

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

A Tabela 01 apresenta os custos fixos iguais independentemente da capacidade produtiva, pois a empresa trabalha apenas com fábricas terceirizadas e o custo fixo reflete o gasto com funcionários próprios para fazer a gestão dos terceiros. Como a quantidade de

funcionários é sempre a mesma em cada fábrica, o custo é constante. É importante destacar que, no modelo atual da empresa, as próprias fábricas atendem diretamente aos clientes sem a necessidade de centros de distribuição externos.

Existe o interesse por parte da empresa em estudo de prospectar novas localidades para potenciais fábricas ou centros de distribuição. A abertura ou fechamento de tais instalações foi considerado no modelo com base em custos fixos fornecidos pela empresa, sendo também preciso assegurar a existência de fornecedores nas regiões desejadas. As possibilidades de novas instalações que atendem aos critérios acima são listadas na Tabela 02:

Tabela 02: Potenciais instalações

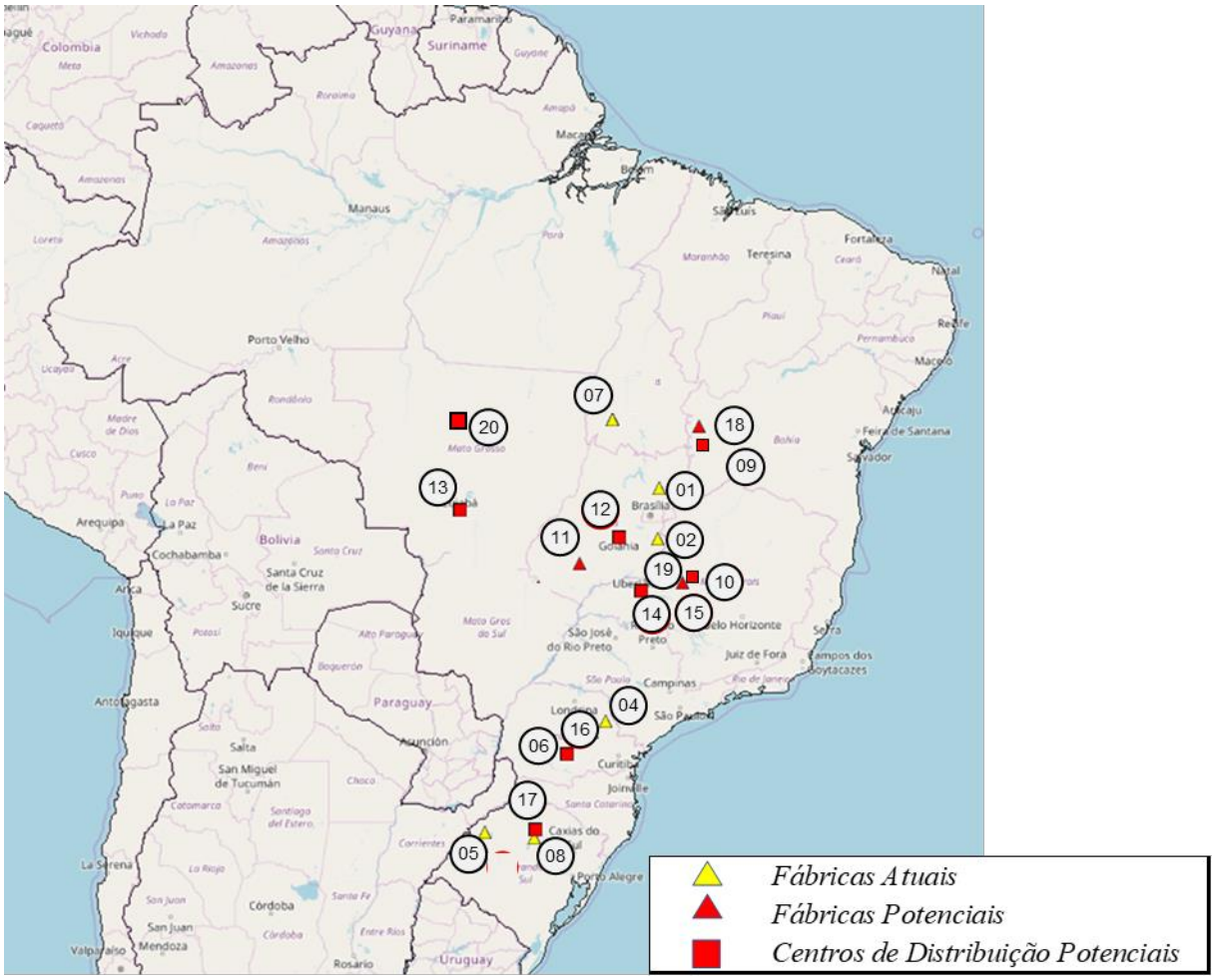
Número	Nome	Cidade	UF	Custo Fixo Abertura (R$)	Custo Fixo Annual (R$)	Custo Produção Unitário	Custo Armazenagem Unitário	Capacidade Produção
8	FAB_Fundacao ProSemente	Passo Fundo	RS	-	260.000	R$ 99,37	R$ -	30.000
9	CD_LEM	Luis Eduardo Magalhaes	BA	1.000.000	260.000	R$ -	R$ 0,40	-
10	CD_PATOS DE MINAS	Patos de Minas	MG	1.000.000	260.000	R$ -	R$ 0,40	-
11	FAB_JHS	Caiaponia	GO	-	260.000	R$ 86,00	R$ -	100.000
12	CD_ABADIA DE GOIAS	Abadia De Goias	GO	1.000.000	260.000	R$ -	R$ 0,40	-
13	CD_CUIABA	Cuiaba	MT	1.000.000	260.000	R$ -	R$ 0,40	-
14	CD_UBERLANDIA	Uberlandia	MG	1.000.000	260.000	R$ -	R$ 0,40	-
15	FAB_Auma	Patos de Minas	MG	-	260.000	R$ 87,00	R$ -	250.000
16	CD_IBIPORA	Ibipora	PR	1.000.000	260.000	R$ -	R$ 0,40	-
17	CD_CRUZ ALTA	Cruz Alta	RS	1.000.000	260.000	R$ -	R$ 0,40	-
18	FAB_SLC	Sao Desiderio	BA	-	260.000	R$ 88,48	R$ -	100.000
19	FAB_Farroupilha	Patos de Minas	MG	-	260.000	R$ 83,51	R$ -	200.000
20	CD_SINOP	Sinop	MT	1.000.000	260.000	R$ -	R$ 0,40	-

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

A tabela 02 mostra custos de armazenagem apenas nos centros de distribuição, que corresponde aos custos de entrega, armazenagem e expedição. Esses custos já estão inclusos no custo de produção contratado nas fábricas. Os custos variáveis dessas operações, como custo de entrada, saída, armazenagem e produção também foram fornecidos pela empresa com base em cotações de mercado.

A figura 07 apresenta a localização geográfica das instalações do modelo.

Figura 07: Representação geográfica das fábricas atuais e propostas da empresa em estudo.



Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

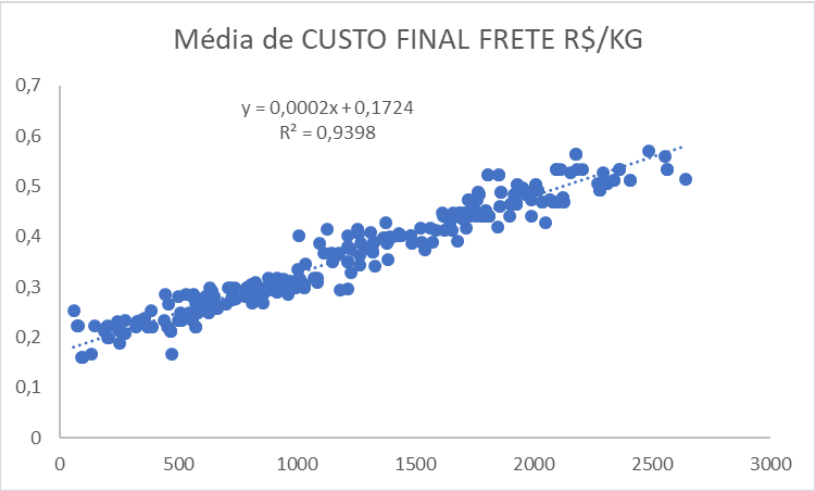
Como esperado, as instalações concentram-se nas principais regiões agrícolas do Brasil onde está o mercado consumidor de sementes de soja.

3.2.4 Custos de transportes

Foram considerados os transportes 100% rodoviários, o que reflete a realidade atual do mercado brasileiro, um pressuposto similar a outros trabalhos, como os de Yoshizaki (2002), Silva (2007) e Frias *et al*. (2014). Com base nas tabelas com custos de frete reais, foram elaboradas curvas de custo de frete versus distância percorrida, pois a empresa não possuía recursos disponíveis para fazer uma cotação em tempo para todas as novas possibilidades de rotas. A fim de garantir a comparabilidade dos dados entre custos de rotas atuais e novas, todos os eixos de origem destino tiveram custos provenientes das mesmas curvas de frete. As

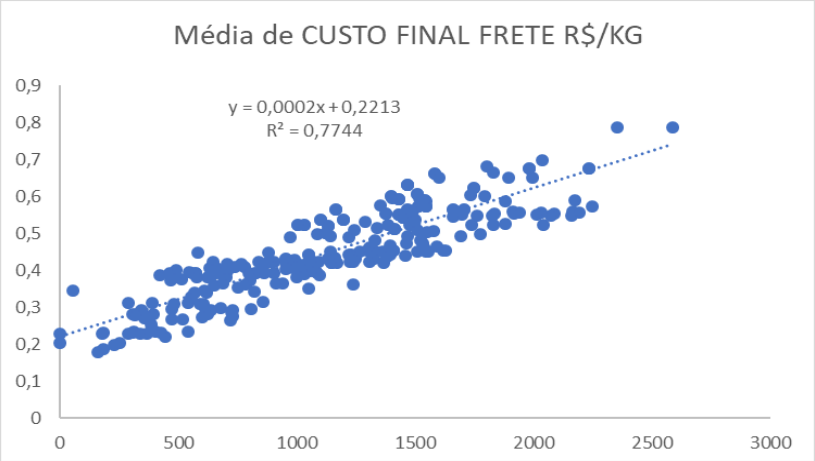
figuras 08 e 09 mostram as curvas de frete usadas para a região sul e centro oeste, respectivamente:

Figura 08 - Curva frete Sul



Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

Figura 09 - Curva frete Centro-Oeste



Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

Os fretes foram divididos entre sul e centro-oeste para mitigar a variação natural do custo R$/Km entre as duas regiões e prover uma maior precisão às curvas de frete. Mesmo assim, é possível perceber um R^2 melhor na curva do sul, 94%, contra apenas 77% do centro-oeste. Esse dado está relacionado ao maior número de transportadoras e rotas usadas no centro-oeste, o que aumentou a dispersão entre os valores.

3.2.5 Custo inventário

A soja é um produto altamente perecível e, se não for plantada no mesmo ano em que foi colhida, perde seus atributos fisiológicos, como a capacidade de germinação e o vigor das plantas. Portanto, os modelos tradicionais de dimensionamento de estoque de segurança não são aplicados pela empresa. O objetivo de negócio da empresa em estudo é finalizar a safra com zero de inventário, mesmo que isso implique perda de oportunidade de vendas por variações positivas de demanda. Nesse cenário, o único custo de inventário calculado pelo modelo é o custo de oportunidade por inventário em trânsito ou armazenado durante a safra. O valor de oportunidade é o quanto a empresa poderia lucrar em investimentos no mercado de ações, caso aplicasse o valor do produto em trânsito ou armazenado. Na empresa em estudo, esse valor é de 12% do custo de produção dos produtos em estoque ou em trânsito.

3.2.6 Modelagem fiscal

A modelagem fiscal foi realizada juntamente com os custos logísticos, adicionando-se os valores correspondentes ao ICMS de cada eixo origem X destino e respeitando o princípio da não cumulatividade do imposto. O modelo também não considera acúmulos de créditos, uma vez que, na prática, eles também não existem na empresa em estudo. São entendidas como movimentações internas transferências entre origem e destino que estão no mesmo estado; já movimentações externas acontecem quando origem e destino estão em estados diferentes, independentemente do destino ser um cliente ou um centro de distribuição.

A equação para cálculo do ICMS por eixo segue abaixo:

ICR: Alíquota ICMS estados “ricos” (RS, SC, PR, SP, MG e RJ) para estados “pobres” (os demais) = 7%

ICP: Alíquota ICMS entre todos os estados com exceção dos listados acima= 12%

ICI: Alíquota ICMS interna (vendas no mesmo estado de origem) = 18%

DC: Desconto Convênio 100 para movimentações: entre os estados (60%)e Interna (100%)

PV: Preço de Venda= média ponderada dos preços de vendas de todos os produtos que compõem os grupos SB e ST.

CT: Custo de transferência (produção mais frete)

TI: Custo fiscal para transferências internas

TE: Custo fiscal para transferências externas

VI: Custo fiscal para vendas internas

VE: Custo fiscal para vendas externas

TRANSFERÊNCIAS INTERNAS (TI):

O custo fiscal de transferências internas (dentro de um mesmo estado) é calculado pela equação 17.

$$TI = \frac{ICI}{(1-ICI)} * CT * DC \tag{17}$$

TRANSFERÊNCIAS EXTERNAS (TE):

O custo fiscal de transferências externas (entre estados) é calculado pela equação 18

$$TE = \frac{ICR\ ou\ ICP}{(1-ICR\ ou\ ICP)} * CT * DC \tag{18}$$

**ICR ou ICP dependendo do eixo origem X destino*

VENDAS INTERNAS (VI):

O custo fiscal de vendas internas (dentro de um mesmo estado) é calculado pela equação 19.

$$I = \left(\frac{ICI}{(1-ICI)} * PV * DC\right) - TI\ ou\ TE \tag{19}$$

**TI ou TE dependendo de onde a transferência anterior aconteceu. Este valor precisa ser considerado na* equação *para respeitar o princípio da não cumulatividade do ICMS. Caso a venda aconteça diretamente da fábrica produtora, este valor é zero.*

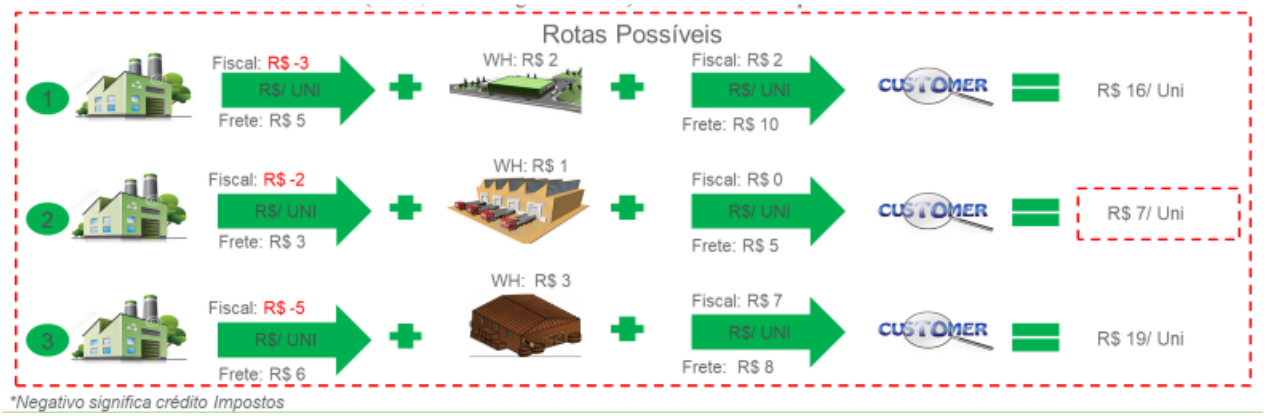
VENDAS EXTERNAS (VE):

O custo fiscal de vendas externas (entre estados diferentes) é calculado pela equação 20.

$$VE = \left(\frac{ICP\ ou\ ICR}{(1-ICP\ ou\ ICR)} * PV * DC\right) - TI\ ou\ TE \tag{20}$$

A interferência fiscal foi calculada paralelamente aos custos logísticos, de maneira que o modelo defina os fluxos de origem x destino considerando todos os fatores (fretes, armazenagem e fiscal), conforme mostra exemplo da figura 10:

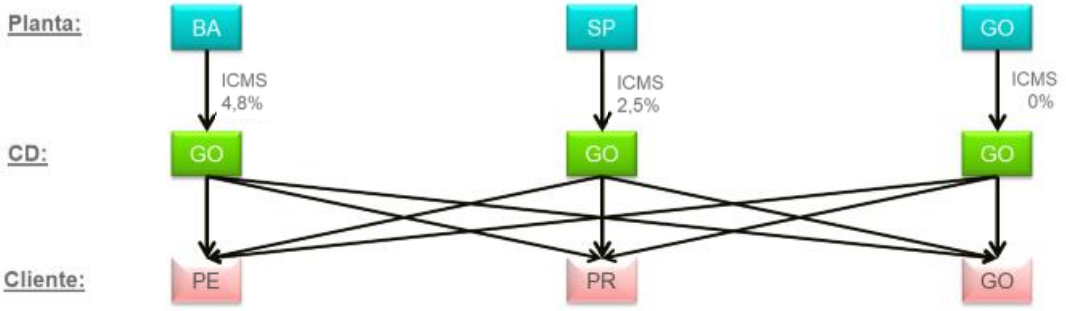
Figura 10 - Exemplo de cálculo fiscal



Fonte: Autor

Os valores ficais foram aplicados diretamente ao modelo como um custo direto por eixo origem x destino. Ou seja, para cada rota, o valor foi calculado previamente, conforme equações listadas acima, e seu resultado aplicado como custo por rota. Como o ICMS tem como característica a não cumulatividade entre os elos da cadeia, o valor pago no eixo de transferência impacta o crédito que pode ser tomado no eixo de venda. Se um centro de distribuição é abastecido por uma fábrica onde a alíquota de ICMS é menor, tem menos crédito para usar no atendimento aos clientes. Quando o mesmo centro é atendido por uma fábrica com alíquota maior, consequentemente, esse centro pode usar mais créditos no atendimento aos clientes. Essa regra faz com que o custo do eixo CD x Cliente esteja diretamente ligado ao custo do eixo Fábrica x CD. A solução matemática usada para esse problema no modelo é demonstrada na figura 11:

Figura 11 - Exemplo de cálculo de não acúmulo de crédito



Fonte: Autor

No exemplo da figura 11, a unidade de Goiás foi dividida em 3 (1 por origem) a fim de considerar as variações na alíquota do ICMS inbound na saída. Dessa forma, o estorno de crédito é calculado em um eixo de Multiplicador > CD > Cliente.

Por exemplo, se o produto é fabricado em Goiás, transferido para um centro de distribuição nesse estado e, posteriormente, enviado ao Paraná, esta última viagem não poderá usar créditos de ICMS, já que a transferência de Goiás para Goiás não é tarifada. Já uma empresa que envia produtos de São Paulo para o centro de distribuição de Goiás e de lá abastece o Paraná, pode gozar do crédito gerado na transferência SP X GO para abater o ICMS da rota GO X PR. Nesse cenário, a empresa é beneficiada pelo princípio da não cumulatividade do ICMS.

4 RESULTADOS

A análise dos resultados do modelo proporciona uma série de pontos de reflexão em relação à aplicação do ICMS.

Para facilitar o entendimento dos resultados, a análise está dividida em:

a) Modelo Base (Com ICMS):
- -Análise Produção;
- -Análise Fluxos Outbound (das plantas aos clientes);
- -Análise fluxos Inbound (de fábricas para centros de distribuição);
- -Análises financeiras;
- -Emissão de Carbono.

b) Modelo Sem ICMS:
- -Análise Produção;
- -Análise Fluxos Outbound (das plantas aos clientes);
- -Análise fluxos Inbound (de fábricas para centros de distribuição);
- -Análises financeiras;
- -Emissão de Carbono;

c) Comparativo entre os Modelos.

4.1 MODELO BASE (COM ICMS)

Este é o modelo com a aplicação dos valores de ICMS conforme a legislação brasileira. Na prática, esta é a malha ótima que deveria ser executada pela empresa em estudo com o objetivo de minimizar os custos totais de operação. É importante reforçar que a emissão de carbono não entrou no modelo como uma restrição ou um custo adicional, sendo apenas calculada a partir dos quilômetros percorridos pelos veículos usados para atender à demanda dos clientes. Ou seja, os volumes de carbono por quilômetros não interferem no resultado do modelo. Os custos do modelo base (com ICMS) podem ser comparados com qualquer outro cenário que a empresa em estudo desejar, já que é a representação numérica das movimentações executadas pela empresa. O presente estudo compara as mudanças de fluxos, custos e emissão de carbono em um cenário hipotético no qual os valores pagos em ICMS não são aplicados. O objetivo foi entender os impactos desse imposto em outras linhas de custos, principalmente na emissão de carbono. Nesse caso, a única linha de custo que não

poderá ser comparada é a do ICMS em si, pois, no cenário sem ICMS, esse valor obviamente será zero, o que na prática não seria possível devido aos pagamentos obrigatórios.

4.1.1 Análise Produção

A produção no modelo base cresce em volume, com o passar dos anos, de maneira a acompanhar a demanda, conforme apresentam a Tabela 03 e a Figura 12.

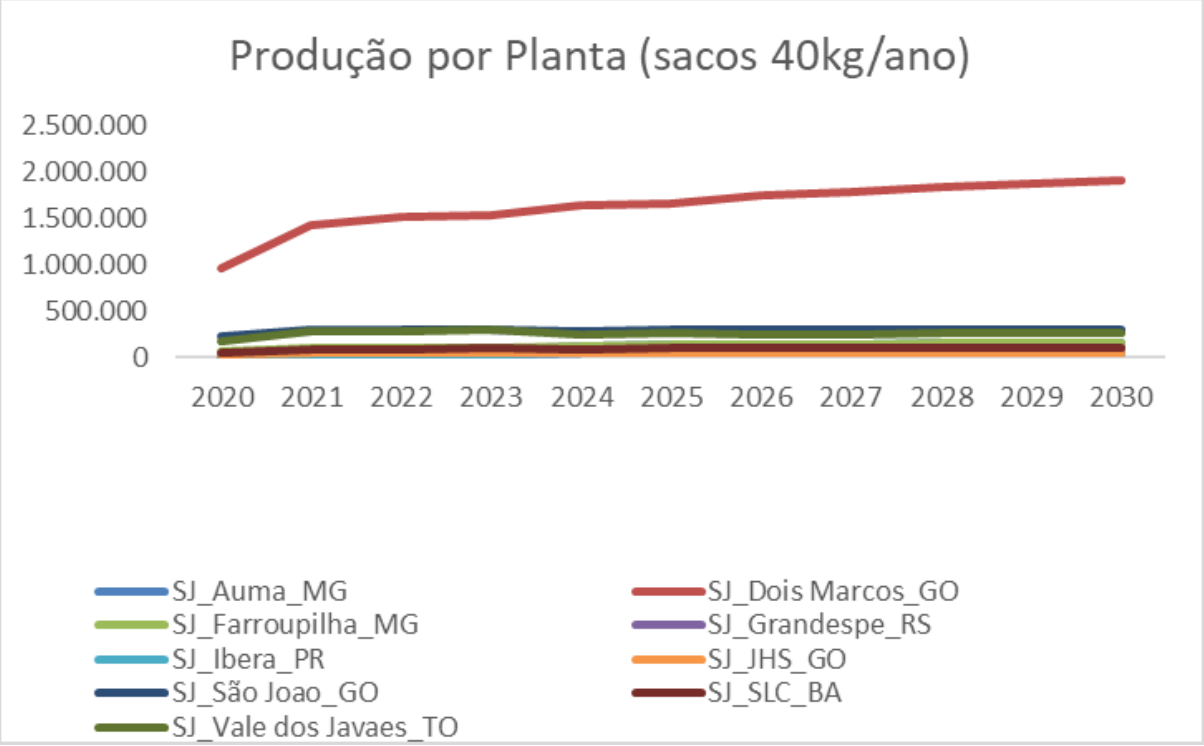
Tabela 03 - Produção anual por planta

Produção por planta/ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total Geral
SJ_Auma_MG	49.953	69.843	82.392	88.878	123.485	128.460	138.994	141.376	144.153	147.036	149.977	1.264.546
SJ_Dois Marcos_GO	966.478	1.428.960	1.514.768	1.531.747	1.640.663	1.669.222	1.750.646	1.787.382	1.834.563	1.871.254	1.908.679	17.904.361
SJ_Farroupilha_MG	69.109	96.472	96.385	104.174	123.319	128.340	138.967	141.338	144.165	147.048	149.989	1.339.304
SJ_Grandespe_RS	12.824	20.393	28.436	27.750	37.730	38.807	39.250	39.975	38.209	38.974	39.753	362.102
SJ_Ibera_PR	11.926	19.168	27.090	26.730	36.901	37.958	38.917	39.636	38.445	39.214	39.998	355.984
SJ_JHS_GO	27.333	39.995	38.564	37.997	36.934	37.443	37.887	38.702	37.988	38.748	39.523	411.113
SJ_São Joao_GO	221.186	300.000	300.000	300.000	286.173	296.366	288.544	300.000	300.000	300.000	300.000	3.192.270
SJ_SLC_BA	44.386	72.713	87.096	98.821	89.273	98.034	92.522	94.218	96.103	98.025	99.985	971.176
SJ_Vale dos Javaes_TO	176.585	277.351	274.609	299.917	235.101	253.075	242.154	246.853	251.790	256.826	261.962	2.776.224
Total Geral	**1.579.779**	**2.324.894**	**2.449.339**	**2.516.015**	**2.609.580**	**2.687.706**	**2.767.881**	**2.829.481**	**2.885.416**	**2.937.124**	**2.989.866**	**28.577.081**

*sacos de 40kg

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Figura 12 - Produção anual por planta



Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

É importante destacar que a produção acompanha linearmente o crescimento da demanda ano a ano, conforme mostram a Tabela 03 e a Figura 12. Isso acontece devido ao modelo não permitir que se acumulem estoques de passagem entre os períodos, o que poderia implicar custos adicionais. As capacidades produtivas foram todas respeitadas pelo modelo, conforme apontadas nas Tabelas 01 e 02.

4.1.2 Análise Fluxos Outbound (das plantas aos clientes)

As demandas atendidas dos clientes ano a ano foram realizadas pelas instalações, conforme mostra a tabela 04:

Tabela 04 - Origens volume para clientes

Rótulos de Linha	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
CD_CRUZ ALTA_RS	34.728	58.986	87.121	92.374	130.488	134.979	146.118	148.813	154.358	157.445	160.594	1.306.004
CD_SINOP_MT	361.199	526.711	492.953	478.749	405.505	402.296	405.520	415.871	424.189	432.672	441.326	4.786.991
SJ_Auma_MG	49.953	69.843	82.392	88.878	123.485	128.460	138.994	141.376	144.153	147.036	149.977	1.264.546
SJ_Dois Marcos_GO	585.701	866.511	965.875	989.555	1.141.868	1.170.214	1.235.024	1.259.380	1.288.086	1.313.848	1.340.125	12.156.186
SJ_Farroupilha_MG	69.109	96.472	96.385	104.174	123.319	128.340	138.967	141.338	144.165	147.048	149.989	1.339.304
SJ_Grandespe_RS	12.824	20.393	28.436	27.750	37.730	38.807	39.250	39.975	38.209	38.974	39.753	362.102
SJ_Ibera_PR	11.926	19.168	27.090	26.730	36.901	37.958	38.917	39.636	38.445	39.214	39.998	355.984
SJ_JHS_GO	27.333	39.995	38.564	37.997	36.934	37.443	37.887	38.702	37.988	38.748	39.523	411.113
SJ_São Joao_GO	179.772	275.869	278.261	288.773	248.976	258.100	252.521	258.438	263.606	268.878	274.256	2.847.449
SJ_SLC_BA	44.386	72.713	87.096	98.821	89.273	98.034	92.522	94.218	96.103	98.025	99.985	971.176
SJ_Vale dos Javaes_TO	176.585	277.351	274.609	299.917	235.101	253.075	242.154	246.853	251.790	256.826	261.962	2.776.224
Total Geral	**1.553.516**	**2.324.012**	**2.458.781**	**2.533.718**	**2.609.580**	**2.687.706**	**2.767.874**	**2.824.600**	**2.881.092**	**2.938.714**	**2.997.488**	**28.577.081**

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

No cenário base, o modelo recomenda a abertura de dois centros de distribuição: um no estado do RS e outro no MT. Em uma avaliação mais detalhada, segue, na tabela 05, o atendimento de cada planta por estado.

Tabela 05 - Envios das plantas por estado

Origem	UF	Demanda Total
CD_CRUZ ALTA_RS_4,8%	PA	112.972
CD_CRUZ ALTA_RS_4,8%	RS	1.193.032
CD_SINOP_MT_4,8%	MT	4.786.991
SJ_Auma_MG	MG	1.246.869
SJ_Auma_MG	MS	3.238
SJ_Auma_MG	MT	14.439
SJ_Dois Marcos_GO	GO	3.323.683
SJ_Dois Marcos_GO	MG	244.424
SJ_Dois Marcos_GO	MS	1.205.611
SJ_Dois Marcos_GO	MT	4.122.976
SJ_Dois Marcos_GO	PR	1.158.139
SJ_Dois Marcos_GO	SP	1.725.598
SJ_Dois Marcos_GO	TO	375.755
SJ_Farroupilha_MG	MG	1.334.473
SJ_Farroupilha_MG	MT	2.339
SJ_Farroupilha_MG	RO	2.460
SJ_Farroupilha_MG	SP	33
SJ_Grandespe_RS	PA	3.767
SJ_Grandespe_RS	RS	358.335
SJ_Ibera_PR	MS	221
SJ_Ibera_PR	MT	760
SJ_Ibera_PR	PR	354.736
SJ_Ibera_PR	RS	212
SJ_Ibera_PR	SP	55
SJ_JHS_GO	MS	161.440
SJ_JHS_GO	MT	198.092
SJ_JHS_GO	PR	21.575
SJ_JHS_GO	SP	30.006
SJ_São Joao_GO	BA	20.563
SJ_São Joao_GO	GO	56.004
SJ_São Joao_GO	MT	1.499.793
SJ_São Joao_GO	PA	459.884
SJ_São Joao_GO	PI	208.840
SJ_São Joao_GO	RO	2.192
SJ_São Joao_GO	TO	600.173
SJ_SLC_BA	BA	604.224
SJ_SLC_BA	MA	365.799
SJ_SLC_BA	MG	373
SJ_SLC_BA	PI	779
SJ_Vale dos Javaes_TO	MA	400.556
SJ_Vale dos Javaes_TO	MT	674.627
SJ_Vale dos Javaes_TO	PA	631.512
SJ_Vale dos Javaes_TO	PI	874
SJ_Vale dos Javaes_TO	TO	1.068.655
Total Geral		28.577.081

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Um dado interessante é a representatividade do atendimento de cada planta dentro de seu próprio estado. Como uma das regras do Convênio 100 prevê desconto de 100% na alíquota interna de ICMS, há uma forte tendência de centralização do atendimento sem movimentações interestaduais, conforme mostra a tabela 06.

Tabela 06 - Representatividade do atendimento por estado

Planta	% de atendimento dentro do proprio estado
CD_CRUZ ALTA_RS	91%
CD_SINOP_MT	100%
SJ_Auma_MG	99%
SJ_Dois Marcos_GO	27%
SJ_Farroupilha_MG	100%
SJ_Grandespe_RS	99%
SJ_Ibera_PR	100%
SJ_JHS_GO	0%
SJ_São Joao_GO	2%
SJ_SLC_BA	62%
SJ_Vale dos Javaes_TO	38%

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

Nota se uma forte tendência de atendimento dentro do mesmo estado para cada operação, reduzindo-se o custo logístico e fiscal.

4.1.3 Análise Fluxos inbound (das plantas aos centros de distribuição)

As movimentações de plantas para centros de distribuição (Inbound) aconteceram a partir do estado de Goiás tanto para o Rio Grande do Sul quanto para o Mato Grosso, conforme mostra a Tabela 07.

Tabela 07: Volume de movimentações Inbound

Destino	Origem	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total Geral
CD_CRUZ ALTA_RS	SJ_Dois Marcos_GO	11.147	35.211	62.740	78.485	93.290	96.712	110.096	108.570	118.956	126.006	133.567	974.781
CD_CRUZ ALTA_RS	SJ_São Joao_GO	23.581	23.776	24.382	13.889	37.198	38.266	36.022	40.243	35.402	31.439	27.027	331.224
CD_SINOP_MT	SJ_Dois Marcos_GO	361.199	526.711	492.953	478.749	405.505	402.296	405.520	415.871	424.189	432.672	441.326	4.786.991
Total Geral		395.927	585.697	580.074	571.123	535.993	537.275	551.639	564.684	578.547	590.118	601.920	6.092.996

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

Destaca-se que, embora atualmente a empresa não conte com centros de distribuição, o modelo ótimo sugere a implantação de dois.

4.1.4 Análises financeiras

Os custos do modelo base se comportaram conforme a tabela 08:

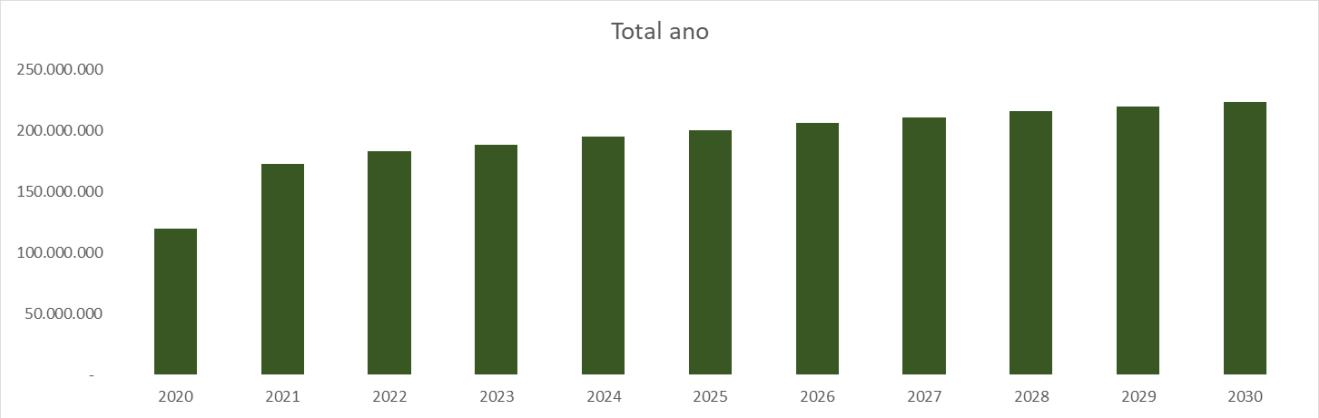
Tabela 08: Custos modelo base

Custo	R$ total ao longo de 10 anos
Custo de Abertura Operações	2.000.000
Custo Fixo total	31.460.000
Frete Outbound (p/Clientes)	376.995.990
Frete Inbound (p/ CDs)	46.171.994
Custo de Produção Total	1.476.332.282
Custo Fiscal	202.896.197
Custos de Armazenagem	1.827.899
Custo de inventario	804.845
Total Custos	**2.138.489.207**

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

O custo de abertura de operações reflete os dois centros de distribuição. No eixo temporal, o principal custo na operação da empresa é a produção, que engloba matéria-prima, insumos, como embalagem e produtos químicos, e mão de obra. A evolução dos custos ao longo do tempo é mostrada na figura 13:

Figura 13 - Evolução anual dos custos modelo base



Valores em R$

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

É possível notar um crescimento proporcional ao crescimento de demanda, exatamente como o esperado, devido à baixa representatividade dos custos fixos (apenas 1.5% do custo total). Outro ponto interessante é a representatividade do ICMS de 9% do custo total. Esse é um valor muito abaixo do esperado em outros mercados não agrícolas onde as alíquotas podem chegar a 19% do preço de venda do produto, conforme mostra a tabela 09.

Tabela 09 - Representatividade de custos modelo base

Custo	% Representatividade
Custo de Produção Total	69%
Frete Outbound (p/Clientes)	18%
Custo Fiscal	9%
Frete Inbound (p/ CDs)	2%
Custo Fixo total	1%
Custo de Abertura Operações	0%
Custos de Armazenagem	0%
Custo de inventario	0%

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

Custos de inventário, armazenagem e abertura de operação são diminutos quando comparados à produção e frete, por exemplo. Nesse contexto, pode-se assumir que eventuais projetos de melhorias de custos deveriam ser focados predominantemente em produção para surtirem o melhor efeito total.

4.1.5 Emissão de Carbono

A emissão de carbono foi calculada pelo modelo "top-down" proposto pelo IPCC. O cálculo leva em consideração a quilometragem percorrida por cada veículo, o combustível utilizado (no caso do Brasil, 100% diesel), a capacidade volumétrica dos caminhões, dentre outros fatores mostrados nas equações de (1) a (5). Na tabela 10, é possível observar o volume de carbono emitido ao longo do período de 10 anos pelos veículos utilizados para entrega, considerando a execução igual à proposta no modelo base:

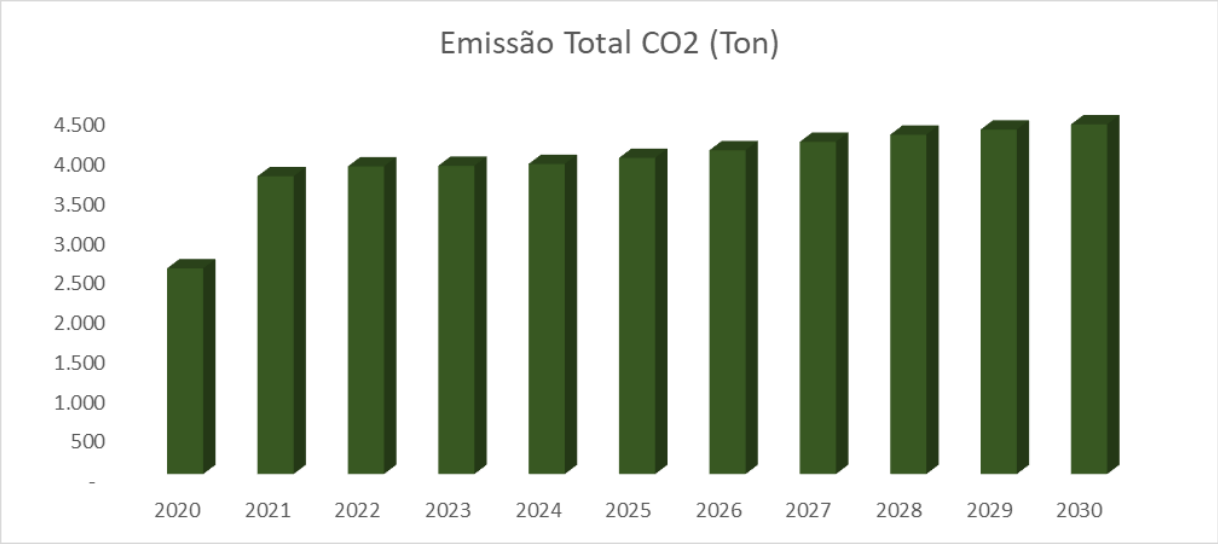
Tabela 10 - Emissão de carbono total modelo base

Emissão (Ton)	KM Percorridos	Toneladas
Emissão CO2 Inbound	1.723.415	15.924
Emissão CO2 Outbound	2.963.132	27.379
Emissão Total CO2 (Ton)	**4.686.547**	**43.304**

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

Embora o volume de movimentação inbound represente menos de 20% do volume total movimentado, o carbono emitido no inbound é 36% do total. Esse efeito é causado pelas longas distâncias entre as fábricas e os centros de distribuição, 1.753km em média. A figura 14 mostra a tendência de crescimento ano a ano da emissão de carbono:

Figura 14 - Evolução da emissão de carbono por ano



Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Observa-se que o crescimento da emissão de carbono acompanha a evolução da demanda ao longo dos anos.

4.2 MODELO SEM ICMS

Neste modelo, foram excluídos valores relativos ao ICMS tanto Inbound quanto Outbound. As comparações de volume movimentado e custos operacionais são possíveis e justas, com exceção obviamente do custo de ICMS que, neste modelo, foi desconsiderado. Análises como lucratividade ou retorno sobre investimentos não poderiam ser aplicadas, uma vez que a exclusão do ICMS é feita apenas no modelo matemático, mas na contabilidade esse imposto deveria ser pago normalmente. Como o cálculo de emissão de CO_2 proposto pelo estudo é composto basicamente pelos quilômetros percorridos, a comparação entre os modelos base e sem ICMS é perfeitamente possível, correspondendo a uma visão fiel aos fatos caso o ICMS não existisse no mercado de sementes.

4.2.1 Análise de produção modelo sem ICMS

Da mesma forma que o modelo base, a produção no modelo sem ICMS segue o crescimento da demanda. A tabela 11 mostra a evolução da produção por planta.

Tabela 11 - Produção modelo sem ICMS

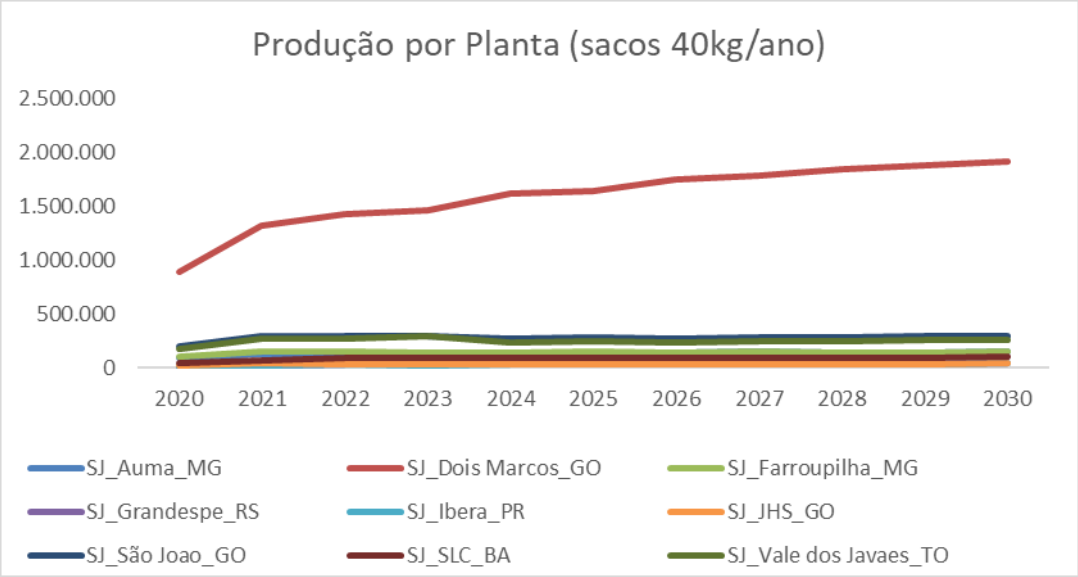
Produção por planta/ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total Geral
SJ_Auma_MG	87.689	128.973	134.091	132.400	142.588	145.586	146.715	149.679	144.105	146.987	149.927	1.508.738
SJ_Dois Marcos_GO	889.201	1.318.980	1.424.698	1.460.798	1.616.220	1.647.964	1.746.206	1.782.541	1.841.696	1.878.530	1.916.101	17.522.935
SJ_Farroupilha_MG	102.922	149.098	148.389	144.132	144.708	147.912	146.747	149.644	144.156	147.040	149.980	1.574.729
SJ_Grandespe_RS	14.556	23.173	31.205	31.690	38.164	39.995	39.091	39.812	38.158	38.921	39.699	374.463
SJ_Ibera_PR	12.544	20.017	27.986	27.431	37.435	38.491	39.145	39.871	38.348	39.115	39.897	360.280
SJ_JHS_GO	27.134	39.884	38.925	38.278	37.644	38.131	38.492	39.328	38.430	39.198	39.982	415.426
SJ_São Joao_GO	198.292	293.452	291.604	299.992	268.454	278.515	276.771	282.624	288.277	294.042	299.923	3.071.947
SJ_SLC_BA	44.751	73.314	87.430	99.202	89.239	97.999	92.483	94.179	96.063	97.984	99.944	972.587
SJ_Vale dos Javaes_TO	176.428	277.121	274.453	299.796	235.128	253.114	242.223	246.922	251.860	256.897	262.035	2.775.976
Total Geral	**1.553.516**	**2.324.012**	**2.458.781**	**2.533.718**	**2.609.580**	**2.687.706**	**2.767.874**	**2.824.600**	**2.881.092**	**2.938.714**	**2.997.488**	**28.577.081**

*sacos de 40kg

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

A produção segue pulverizada por todas as regiões do país onde é possível produzir soja, respeitando a capacidade de cada instalação.

Figura 15: Produção modelo sem ICMS



Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

A principal fábrica em volume é a SJ_DoisMarcos_GO, não pelo custo, mas por sua capacidade de produção que é a maior entre todas as operações.

4.2.2 Análise Fluxos Outbound (das plantas aos clientes) modelo sem ICMS

O modelo sem ICMS faz toda a distribuição diretamente das plantas aos clientes. Esse fluxo é diferente em relação ao cenário base, no qual se nota a abertura de dois centros de distribuição, um no Rio Grande do Sul e outro no Mato Grosso.

Tabela 12 - Distribuição modelo sem ICMS

Produção por planta/ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total Geral
SJ_Auma_MG	87.689	128.973	134.091	132.400	142.588	145.586	146.715	149.679	144.105	146.987	149.927	1.508.738
SJ_Dois Marcos_GO	889.201	1.318.980	1.424.698	1.460.798	1.616.220	1.647.964	1.746.206	1.782.541	1.841.696	1.878.530	1.916.101	17.522.935
SJ_Farroupilha_MG	102.922	149.098	148.389	144.132	144.708	147.912	146.747	149.644	144.156	147.040	149.980	1.574.729
SJ_Grandespe_RS	14.556	23.173	31.205	31.690	38.164	39.995	39.091	39.812	38.158	38.921	39.699	374.463
SJ_Ibera_PR	12.544	20.017	27.986	27.431	37.435	38.491	39.145	39.871	38.348	39.115	39.897	360.280
SJ_JHS_GO	27.134	39.884	38.925	38.278	37.644	38.131	38.492	39.328	38.430	39.198	39.982	415.426
SJ_São Joao_GO	198.292	293.452	291.604	299.992	268.454	278.515	276.771	282.624	288.277	294.042	299.923	3.071.947
SJ_SLC_BA	44.751	73.314	87.430	99.202	89.239	97.999	92.483	94.179	96.063	97.984	99.944	972.587
SJ_Vale dos Javaes_TO	176.428	277.121	274.453	299.796	235.128	253.114	242.223	246.922	251.860	256.897	262.035	2.775.976
Total Geral	**1.553.516**	**2.324.012**	**2.458.781**	**2.533.718**	**2.609.580**	**2.687.706**	**2.767.874**	**2.824.600**	**2.881.092**	**2.938.714**	**2.997.488**	**28.577.081**

*sacos de 40kg

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

A distribuição da tabela 12 é exatamente igual aos dados apresentados na tabela 11. Uma vez que não há transferências nem possibilidade de criação de estoque de segurança, 100% da produção de uma fábrica é enviada diretamente para os clientes. Porém, na tabela 13, é possível notar diferenças no atendimento por fábrica:

Tabela 13 - Venda de cada planta por estado

Origem	UF	Demanda Total
SJ_Auma_MG	MG	547.577
SJ_Auma_MG	MT	399.530
SJ_Auma_MG	PA	4.226
SJ_Auma_MG	PR	9.566
SJ_Auma_MG	RS	176.021
SJ_Auma_MG	SP	371.817
SJ_Dois Marcos_GO	GO	3.012.554
SJ_Dois Marcos_GO	MG	2.015.066
SJ_Dois Marcos_GO	MS	1.200.232
SJ_Dois Marcos_GO	MT	7.519.152
SJ_Dois Marcos_GO	PA	9.268
SJ_Dois Marcos_GO	PR	1.162.051
SJ_Dois Marcos_GO	RS	783.914
SJ_Dois Marcos_GO	SP	1.122.135
SJ_Dois Marcos_GO	TO	698.564
SJ_Farroupilha_MG	MG	263.124
SJ_Farroupilha_MG	MS	221
SJ_Farroupilha_MG	MT	763.053
SJ_Farroupilha_MG	PR	350.825
SJ_Farroupilha_MG	SP	197.506
SJ_Grandespe_RS	PA	116.739
SJ_Grandespe_RS	RS	257.723
SJ_Ibera_PR	MS	8.617
SJ_Ibera_PR	MT	2.310
SJ_Ibera_PR	PR	12.009
SJ_Ibera_PR	RO	2.192
SJ_Ibera_PR	RS	333.920
SJ_Ibera_PR	SP	1.232
SJ_JHS_GO	MS	161.440
SJ_JHS_GO	MT	190.986
SJ_JHS_GO	SP	63.001
SJ_São Joao_GO	BA	18.779
SJ_São Joao_GO	GO	367.133
SJ_São Joao_GO	MG	373
SJ_São Joao_GO	MT	1.746.382
SJ_São Joao_GO	PA	450.616
SJ_São Joao_GO	PI	208.840
SJ_São Joao_GO	RO	2.460
SJ_São Joao_GO	TO	277.364
SJ_SLC_BA	BA	606.008
SJ_SLC_BA	MA	365.799
SJ_SLC_BA	PI	779
SJ_Vale dos Javaes_TO	MA	400.556
SJ_Vale dos Javaes_TO	MT	678.605
SJ_Vale dos Javaes_TO	PA	627.286
SJ_Vale dos Javaes_TO	PI	874
SJ_Vale dos Javaes_TO	TO	1.068.655
Total Geral		**28.577.081**

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Pode-se observar também uma menor necessidade, no modelo sem ICMS em relação ao modelo base, de manter produtos em um mesmo estado, conforme mostra a tabela 14.

Tabela 14 - Distribuição no mesmo estado modelo sem ICMS

Planta	% de atendimento dentro do proprio estado
SJ_Auma_MG	36%
SJ_Dois Marcos_GO	17%
SJ_Farroupilha_MG	17%
SJ_Grandespe_RS	69%
SJ_Ibera_PR	3%
SJ_JHS_GO	0%
SJ_São Joao_GO	12%
SJ_SLC_BA	62%
SJ_Vale dos Javaes_TO	38%

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

Observa-se que Rio Grande do Sul e Bahia são as regiões onde a produção se manteve em maior percentual dentro do próprio estado.

4.2.3 Análise Fluxos inbound (das plantas aos centros de distribuição) Modelo sem ICMS

No modelo sem ICMS, não há a abertura de centros de distribuição, portanto, não foi proposto nenhuma movimentação Inbound.

4.2.4 Análises financeiras

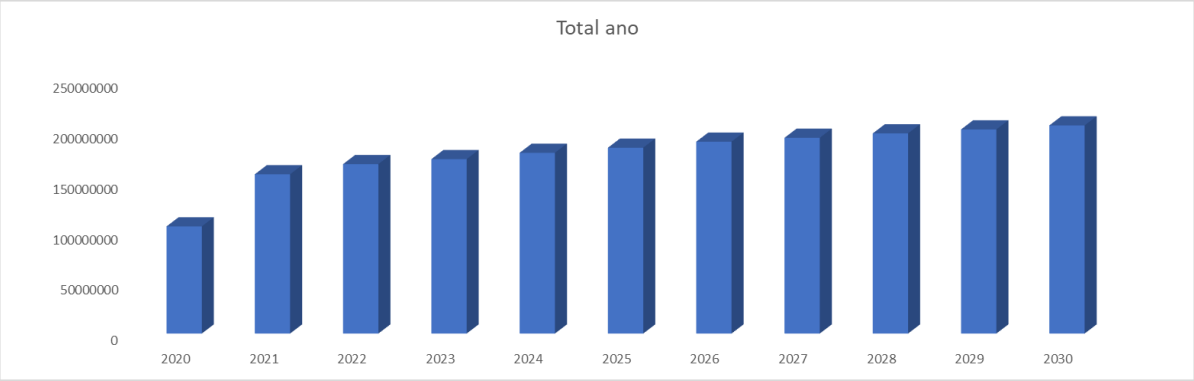
Os custos do modelo sem ICMS comportam-se conforme a tabela 15:

Tabela 15 - Custos modelo sem ICMS

Custo	R$ total ao longo de 10 anos
Custo de Abertura Operações	-
Custo Fixo total	25.740.000
Frete Outbound (p/Clientes)	454.572.257
Frete Inbound (p/ CDs)	-
Custo de Produção Total	1.474.157.686
Custo Fiscal	-
Custos de Armazenagem	-
Custo de inventario	386.262
Total Custos	**1.954.856.205**

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

Figura 16 - Custos modelo sem ICMS por ano



Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Nota-se nos custos do modelo sem ICMS que não há custos para armazenagem externa devido a não abertura de centro de distribuição. Pelo mesmo motivo, também não há custo de abertura de operação e, como esperado, o custo fiscal com zero, representado pela exclusão do ICMS no modelo.

A representatividade de cada um dos custos no modelo sem ICMS é dada conforme a tabela 16:

Tabela 16 - Representatividade % de custos modelo sem ICMS

Custo	Representatividade %
Custo de Produção Total	75%
Frete Outbound (p/Clientes)	23%
Custo Fixo total	1%
Custo de inventario	0%
Custo de Abertura Operações	0%
Frete Inbound (p/ CDs)	0%
Custo Fiscal	0%
Custos de Armazenagem	0%

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Os dois maiores custos continuam sendo produção e frete, neste caso apenas o outbound.

4.2.5 Emissão de Carbono modelo sem ICMS

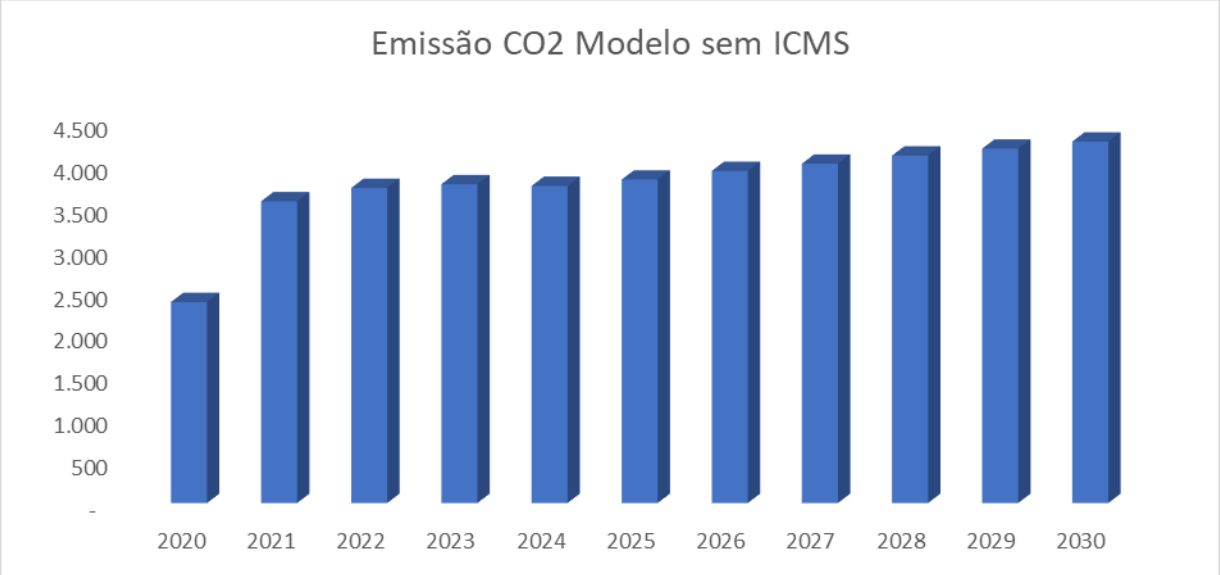
Seguindo exatamente o mesmo cálculo do modelo base (conforme descrito no item 4.1.5 Emissão de Carbono) para quantificar o volume de CO_2 emitido pelo modelo sem ICMS, os valores encontrados estão na tabela 17, a seguir:

Tabela 17 - Emissão de Carbono modelo sem ICMS

	KM Percorridos	Toneladas
Emissão CO2 Inbound	-	-
Emissão CO2 Outbound	4.479.314	41.389
Total	**4.479.314**	**41.389**

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

Figura 17 - Emissão CO_2 modelo sem ICMS



Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

4.3 COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS

Uma vez apresentados separadamente os resultados dos modelos base e modelo sem ICMS, cabe, a partir desse momento, um comparativo entre os dois, buscando entender as implicações e a relevância do ICMS em diversos aspectos.

Muito embora a proposta inicial do estudo seja a mensuração dos impactos do ICMS na emissão de CO_2, o aprofundamento nas comparações financeiras contribui para que o leitor

forme uma visão completa das oportunidades e desafios de otimizar uma malha logística no mercado agro, abrindo também a possibilidade de que novos estudos sejam conduzidos para questionar outras variáveis de negócio.

4.3.1 Comparativo de produção

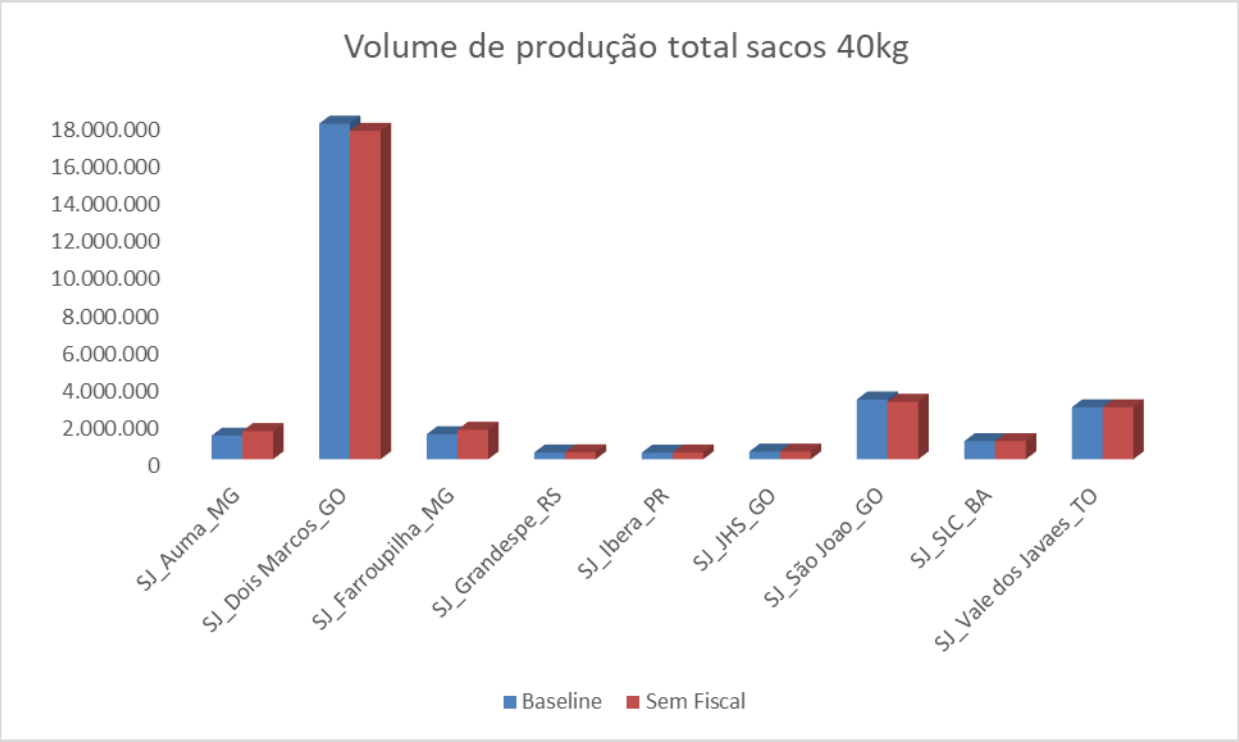
Quando analisadas conjuntamente, as produções do modelo base e do modelo sem ICMS não apresentam diferenças relevantes:

Tabela 18 - Comparativo de produção

Rótulos de Linha	Baseline	Repr %	Sem Fiscal	Repr %
SJ_Auma_MG	1.264.546	4%	1.508.738	5%
SJ_Dois Marcos_GO	17.904.361	63%	17.522.935	61%
SJ_Farroupilha_MG	1.339.304	5%	1.574.729	6%
SJ_Grandespe_RS	362.102	1%	374.463	1%
SJ_Ibera_PR	355.984	1%	360.280	1%
SJ_JHS_GO	411.113	1%	415.426	1%
SJ_São Joao_GO	3.192.270	11%	3.071.947	11%
SJ_SLC_BA	971.176	3%	972.587	3%
SJ_Vale dos Javaes_TO	2.776.224	10%	2.775.976	10%
Total	**28.577.081**	**100%**	**28.577.081**	**100%**

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Figura 18 - Gráfico comparativo de produção



Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Como a produção pode ser movimentada de diversas maneiras, como, por exemplo, atendendo clientes de regiões distintas, o fato de não haver mudanças representativas na produção dos dois cenários, não significa necessariamente que o ICMS por si só não teria relevância para mudar a malha logística.

4.3.2 Comparativo fluxos outbound

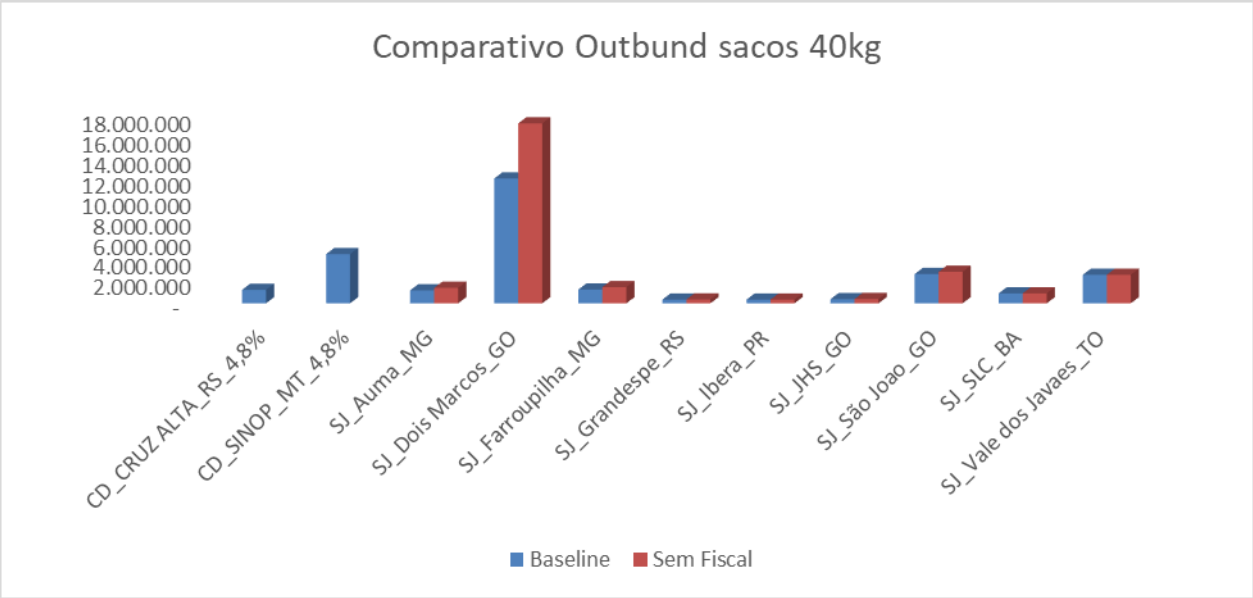
Se, por um lado, não houve relevante alteração nas produções por planta de cada cenário, por outro, a distribuição a clientes apresentou profundas mudanças entre o modelo base e o modelo sem ICMS:

Tabela 19 - Comparativo de Fluxo atendimento Clientes (Outbound)

Atendimento Clientes (Fluxo Outbound)				
	Baseline	Repr. %	Sem Fiscal	Repr. %
CD_CRUZ ALTA_RS_4,8%	1.306.004	5%		0%
CD_SINOP_MT_4,8%	4.786.991	17%		0%
SJ_Auma_MG	1.264.546	4%	1.508.738	5%
SJ_Dois Marcos_GO	12.156.186	43%	17.522.935	61%
SJ_Farroupilha_MG	1.339.304	5%	1.574.729	6%
SJ_Grandespe_RS	362.102	1%	374.463	1%
SJ_Ibera_PR	355.984	1%	360.280	1%
SJ_JHS_GO	411.113	1%	415.426	1%
SJ_São Joao_GO	2.847.449	10%	3.071.947	11%
SJ_SLC_BA	971.176	3%	972.587	3%
SJ_Vale dos Javaes_TO	2.776.224	10%	2.775.976	10%
Total Geral	**28.577.081**	**100%**	**28.577.081**	**100%**

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Figura 19 - Comparativo de Fluxo atendimento Clientes (Outbound)



Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Com a aplicação do ICMS no modelo base, o cenário de atendimento ótimo passa a conter dois centros de distribuição, representando aproximadamente 21% do volume total expedido. O montante foi reduzido da venda direta da planta SJ_DoisMarcos_GO, demonstrando claramente que os custos de ICMS são mais relevantes que o valor de frete e armazenagem adicionais necessários para abrir centros de distribuição.

Com a avaliação dos resultados, pode-se concluir que a incidência de impostos com alíquotas variáveis por estado tem impacto no posicionamento estratégico das empresas, que podem se posicionar fisicamente com plantas fabris e centros de distribuição de maneira a

tirar proveito de alíquotas mais baixas de ICMS. Outra característica notada no comparativo de modelos foi o atendimento de cada estado, conforme tabela 20:

Tabela 20 - Comparativo de fluxo de atendimento clientes por estado

Comparativo de Atendimento por Estado				
Source Name	UF	Modelo Base	Modelo sem ICMS	Variação %
CD_CRUZ ALTA_RS_4,8%	PA	112.972	-	N/A
CD_CRUZ ALTA_RS_4,8%	RS	1.193.032	-	N/A
CD_SINOP_MT_4,8%	MT	4.786.991	-	N/A
SJ_Auma_MG	MG	1.246.869	547.577	228%
SJ_Auma_MG	MS	3.238	-	N/A
SJ_Auma_MG	MT	14.439	399.530	4%
SJ_Auma_MG	PA	-	4.226	0%
SJ_Auma_MG	PR	-	9.566	0%
SJ_Auma_MG	RS	-	176.021	0%
SJ_Auma_MG	SP	-	371.817	0%
SJ_Dois Marcos_GO	GO	3.323.683	3.012.554	110%
SJ_Dois Marcos_GO	MG	244.424	2.015.066	12%
SJ_Dois Marcos_GO	MS	1.205.611	1.200.232	100%
SJ_Dois Marcos_GO	MT	4.122.976	7.519.152	55%
SJ_Dois Marcos_GO	PA	-	9.268	0%
SJ_Dois Marcos_GO	PR	1.158.139	1.162.051	100%
SJ_Dois Marcos_GO	RS	-	783.914	0%
SJ_Dois Marcos_GO	SP	1.725.598	1.122.135	154%
SJ_Dois Marcos_GO	TO	375.755	698.564	54%
SJ_Farroupilha_MG	MG	1.334.473	263.124	507%
SJ_Farroupilha_MG	MS	-	221	0%
SJ_Farroupilha_MG	MT	2.339	763.053	0%
SJ_Farroupilha_MG	PR	-	350.825	0%
SJ_Farroupilha_MG	RO	2.460	-	N/A
SJ_Farroupilha_MG	SP	33	197.506	0%
SJ_Grandespe_RS	PA	3.767	116.739	3%
SJ_Grandespe_RS	RS	358.335	257.723	139%
SJ_Ibera_PR	MS	221	8.617	3%
SJ_Ibera_PR	MT	760	2.310	33%
SJ_Ibera_PR	PR	354.736	12.009	2954%
SJ_Ibera_PR	RO	-	2.192	0%
SJ_Ibera_PR	RS	212	333.920	0%
SJ_Ibera_PR	SP	55	1.232	4%
SJ_JHS_GO	MS	161.440	161.440	100%
SJ_JHS_GO	MT	198.092	190.986	104%
SJ_JHS_GO	PR	21.575	-	N/A
SJ_JHS_GO	SP	30.006	63.001	48%
SJ_São Joao_GO	BA	20.563	18.779	110%
SJ_São Joao_GO	GO	56.004	367.133	15%
SJ_São Joao_GO	MG	-	373	0%
SJ_São Joao_GO	MT	1.499.793	1.746.382	86%
SJ_São Joao_GO	PA	459.884	450.616	102%
SJ_São Joao_GO	PI	208.840	208.840	100%
SJ_São Joao_GO	RO	2.192	2.460	89%
SJ_São Joao_GO	TO	600.173	277.364	216%
SJ_SLC_BA	BA	604.224	606.008	100%
SJ_SLC_BA	MA	365.799	365.799	100%
SJ_SLC_BA	MG	373	-	N/A
SJ_SLC_BA	PI	779	779	100%
SJ_Vale dos Javaes_TO	MA	400.556	400.556	100%
SJ_Vale dos Javaes_TO	MT	674.627	678.605	99%
SJ_Vale dos Javaes_TO	PA	631.512	627.286	101%
SJ_Vale dos Javaes_TO	PI	874	874	100%
SJ_Vale dos Javaes_TO	TO	1.068.655	1.068.655	100%
Total Geral		**28.577.081**	**28.577.081**	**100%**

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Foram destacadas, em verde, as principais reduções de volume no modelo sem ICMS comparando com o modelo base e, em vermelho, os principais aumentos de volume. Em se tratando de atendimento dentro do mesmo estado, a variação entre os modelos é ainda mais evidente:

Tabela 21 - Comparativo de atendimento dentro do mesmo estado

	Modelo Base	Modelo sem ICMS
Volume total atendido dentro do mesmo estado	14.327.004	6.134.783
Representatividade %	50%	21%

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

O montante movimentado dentro do mesmo estado quando o ICMS é aplicado é praticamente o dobro, comparando com o modelo sem ICMS. O ICMS desestimula o comércio entre os estados no mercado agro.

4.3.3 Comparativo Fluxos INBOUND

Como o modelo sem ICMS não recomendou abertura de centros de distribuição, os únicos volumes movimentados em fluxo inbound estão no modelo base, conforme mostra a Tabela 22:

Tabela 22 - Comparativo de fluxos inbound

Origem	Destino	Sacos 40kg
SJ_Dois Marcos_GO	CD_CRUZ ALTA_RS	961.183
SJ_Dois Marcos_GO	CD_SINOP_MT	4.786.991
SJ_São Joao_GO	CD_CRUZ ALTA_RS	344.821
Total Geral		**6.092.996**

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

4.3.4 Comparativo Financeiro

Na tabela 23, é demonstrada a comparação financeira entre os modelos:

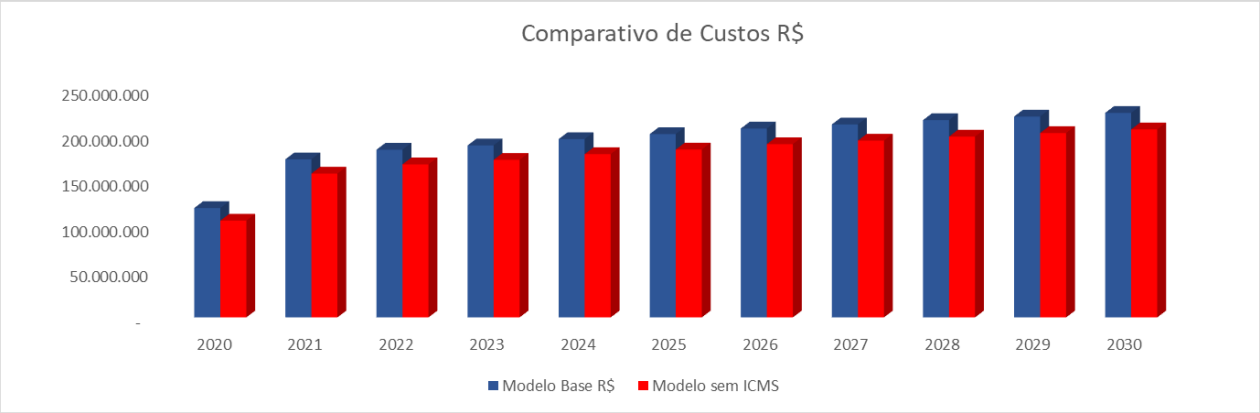
Tabela 23 - Representatividade de custos

	Modelo Base (R$)	Repr %	Modelo sem ICMS (R$)	Repr %
Custo de Produção Total	1.476.332.282	69%	1.474.157.686	75%
Frete Outbound (p/Clientes)	376.995.990	18%	454.572.257	23%
Custo Fiscal	202.896.197	9%	-	0%
Frete Inbound (p/ CDs)	46.171.994	2%	-	0%
Custo Fixo total	31.460.000	1%	25.740.000	1%
Custo de Abertura Operações	2.000.000	0%	-	0%
Custos de Armazenagem	1.827.899	0%	-	0%
Custo de inventario	804.845	0%	386.262	0%
Total Custos	**2.138.489.207**	**100%**	**1.954.856.205**	**100%**

Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

A tabela 23 mostra que a representatividade dos custos permanece uniforme entre os modelos, sendo as variações concentradas em custos fiscais (devido a não aplicação do ICMS no modelo sem ICMS).

Figura 20 - Comparativo anual de custos



Fonte: Autor "adaptado de" empresa em estudo

É importante destacar que outras linhas de custo também apresentaram custos mais baixos além do fiscal, como produção, custos fixos, armazenagem e inventário.

Entretanto, essas reduções não são suficientes para suplantar o ICMS adicional que seria gerado. Portanto, pode-se concluir que, para a empresa em estudo, economizar com ICMS implica outros custos adicionais, ainda que menores. Esses custos podem ser vistos como um efeito colateral da economia total e são inerentes à operação.

Em contrapartida, o custo de distribuição outbound apresentou um sensível aumento. Como esse custo também faz parte da conta de custo total, reduzi-lo obrigatoriamente implicará custos maiores em outras linhas. Essa afirmação é possível devido à função objetivo dos modelos ser a redução de custo total.

4.3.5 Comparativo de emissão CO_2

Após uma visão geral sobre as variações de fluxo e financeiras entre os modelos base e sem ICMS resta a este estudo a apresentação da análise detalhada dos impactos na emissão de carbono devido ao ICMS.

Começando pela comparação direta:

Tabela 24 - Comparativo de emissão CO_2

	Modelo Base	Sem Fiscal
CO2 Outbound	27.379	41.389
CO2 Inbound	15.924	-
Total (Ton)	**43.304**	**41.389**

Fonte: Autor “adaptado de” empresa em estudo

Numericamente, haveria uma redução de 1.915 toneladas de carbono emitidas na atmosfera ao longo dos 10 anos de operação, caso o ICMS não fosse cobrado. Esse valor representa uma redução de ~5% do montante total emitido no mesmo período.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de entender o impacto do ICMS na emissão de CO_2 em uma malha logística de sementes de soja com representatividade em todo o território nacional. O estudo investigou como se comporta um modelo de malha logística com e sem a aplicação do ICMS, comparando os resultados não só da emissão de CO_2 como também os outros custos envolvidos na cadeia de abastecimento da empresa em estudo.

O aprendizado teórico e prático permitiu aos executivos da empresa ter visibilidade clara de cada linha de custo para abertura de novos centros de distribuição, fazendo um balanço entre o retorno financeiro e o impacto ambiental.

Além do relato dos resultados encontrados, foram investigadas algumas questões de pesquisas acadêmicas, que cabe agora serem respondidas:

1) Quais impactos a legislação do ICMS estaria causando na emissão de CO_2 em um projeto de malha logística de uma empresa no setor de agronegócios?

Os resultados indicam que a aplicação do ICMS tem impacto na quilometragem percorrida pelos veículos com o objetivo de atender aos clientes ao menor custo total possível. Ao longo do período de análise, há um potencial de emissão de $CO_2$5% maior quando os custos operacionais são otimizados com o imposto. A partir dessa constatação, pode-se afirmar que a incidência de ICMS é numericamente responsável por alterações no desenho de distribuição em um negócio de sementes de soja.

Algumas constatações adicionais podem ser extraídas desses valores:

a) A emissão de CO_2 outbound é 34% menor no modelo base. Isso acontece devido à menor distância que é necessário percorrer no modelo base para chegar aos clientes, 605km em média contra 834 no modelo sem ICMS.
b) 20% do volume Inbound emite 36% do CO_2 total do modelo base. Isso porque a distância média entre as plantas e os centros de distribuição é de 1.753km, muito superior à média de quilômetros percorridos no outbound, 605km.
c) O estudo mostra que a incidência de ICMS aumenta o atendimento de clientes no mesmo estado da origem, o que deixaria as distâncias menores. Entretanto, a emissão de CO_2 é maior no modelo base, pois há necessidade de desvio de rota para que o produto passe primeiro em centros de distribuição e somente após

seja enviado aos clientes. Como o montante total de quilômetros percorridos é maior, emite-se mais CO_2 na atmosfera.

d) Haveria um potencial de redução na emissão de CO_2 se uma fábrica, para atender à demanda, fosse montada no Mato Grosso, em vez de um centro de distribuição que recebe produtos de outro estado. Esse ponto foi amplamente discutido na empresa em estudo, mas, devido a condições climatológicas e geográficas, a produção de sementes de soja no estado do Mato Grosso perde muito em qualidade, quando comparada com outras regiões do país, principalmente em relação ao estado de Goiás. Assim, em decisão técnica alinhada ao parecer da sua equipe de agrônomos, a empresa em estudo decidiu por não investir na produção de sementes nesse estado. Uma decisão como essa pode impactar diretamente nos resultados do estudo, fazendo com que outras conclusões sejam extraídas.

2) Como seria um modelo matemático de otimização de malha logística com a inclusão de ICMS em acordo com a legislação específica para agricultura?

O modelo apresentado com a variável ICMS, minimizada junto aos custos logísticos do modelo clássico, foi construído considerando todas as peculiaridades da legislação que rege a aplicação do ICMS no mercado agro: o Convênio 100. Foram consideradas as questões, tais como a não cumulatividade do imposto com a utilização dos créditos gerados em transferências entre os estados, o desconto aplicado à alíquota, o cálculo do imposto "por dentro", em que o ICMS é somado à base para se apurar o custo, entre outros fatores.

Os resultados estão alinhados a outros estudos de malha (YOSHIZAKI, 2002; FRIAS *et al.*, 2014; SILVA, 2007), mostrando que o ICMS é um imposto capaz de alterar a distribuição de empresas que buscam otimizar os custos operacionais. A contribuição deste trabalho é comprovar a influência do imposto em um fator ambiental que é a emissão de gás carbônico.

A maior limitação da pesquisa é a impossibilidade de generalização estatística dos resultados, devido à utilização do método de estudo de caso único.

5.1 PESQUISAS FUTURAS

Novos estudos poderiam ser conduzidos para atestar a afirmação dos resultados em outras sementes ou mesmo em negócios não participantes do Convênio 100. É importante destacar também que, em muitos negócios, a utilização de um centro de distribuição está relacionada também a uma restrição operacional, para ampliar a capacidade de armazenagem ou de expedição das fábricas. Embora esse não seja o caso da empresa em estudo, a análise poderia ser realizada usando-se os mesmos critérios avaliados por este trabalho; apenas seria necessário considerar a localização dos centros de distribuição e não necessariamente das fábricas que os precedem. Tendo em vista que desenhos de malha são modelos consagrados dentro da literatura (BALLOU, 2001), destaca-se a necessidade de estudos aprofundados quando a presente análise for aplicada em outros negócios.

Por fim, o estudo conclui que, embora com o resultado de que o modelo sem ICMS tem uma redução na emissão de CO_2, não se pode afirmar que o mesmo vá ocorrer em todos os casos onde o imposto é aplicado. Recomenda-se, portanto, que novos estudos sejam conduzidos em outros mercados, países ou com diferentes premissas para atestar a solidez da correlação entre ICMS e emissão de CO_2.

REFERÊNCIAS

ALTIG, David et al. Simulating fundamental tax reform in the United States. **American Economic Review**, v. 91, n. 3, p. 574-595, 2001.

ÁLVARES JR, O. de M.; LINKE, Renato Ricardo Antonio. Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil. São Paulo: CETESB, 2001. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/PDF/inventario_efeitoestufa.pdf>. Acesso em: 08 set. 2018

BALLOU, Ronald H. Unresolved issues in supply chain network design**. Information Systems Frontiers**, v. 3, n. 4, p. 417-426, 2001

BASSETT, Matt; GARDNER, Leslie. Designing optimal global supply chains at Dow AgroSciences. **Annals of Operations Research**, v.203, n.1, p. 1-30, Mar/2013.

BROWN, J. Christopher. Responding to deforestation: productive conservation, the World Bank, and beekeeping in Rondonia, Brazil. **The Professional Geographer**, v. 53, n.1, p. 106-118, Feb/2001.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: estratégia, planejamento e operação. [S.l.]: Pearson, 2003.

CROXTON, Keely L.; ZINN, Walter. Inventory considerations in network design. **Journal of Business Logistics**, v. 26, n. 1, p. 149-168, 2005.

DASKIN, Mark S. **Network and discrete location**: models, algorithms, and applications. Michigan: John Wiley& Sons, 2011.

DREHER, Axel. The influence of globalization on taxes and social policy: an empirical analysis for OECD countries. **European Journal of Political Economy**, v. 22, n. 1, p. 179-201, 2006.

ESTADO de São Paulo Jornal- edição do dia 25/11/2013 disponível em:< https://opiniao.estadao.com.br/noticias/geral,o-fim-da-guerra-dos-portos-imp-,1100357>. Acesso em 10 Jul. 2018

FRIAS, Luiz Felipe de Medeiros; FARIAS, Isabel de Abreu; WANKE, Peter Fernandes. Logistics network planning: a Brazilian petrochemical industry case study. **RAM- Revista de Administração Mackenzie**, v. 14, n. 4, p. 222-250, 2013.

GROOT, Jeroen CJ; JELLEMA, André; ROSSING, Walter AH. Designing a hedgerow network in a multifunctional agricultural landscape: balancing trade-offs among ecological quality, landscape character and implementation costs. **European Journal of Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 112-119, 2010.

HAMAD, Ricardo et al. Modelagem de redes logísticas com custos de inventário calculados a partir da cobertura de estoque. **Produção**, v.21, n.4, p. 667-675, 2011.

JABALI, Ola; WOENSEL, T.; DE KOK, A. G. Analysis of travel times and CO_2 emissions in time-dependent vehicle routing. **Production and Operations Management**, v. 21, n. 6, p. 1060-1074, 2012.

LONGO, Francesco. Sustainable supply chain design: an application example in local business retail. **Simulation,** v. 88, n. 12, p. 1484-1498, 2012.

MALUF JÚNIOR, João. **Do Brazilian states engage in the fiscal war of ports? An empiric study of tax competition and an analysis of a natural experiment**: the Brazilian Senate resolution13/2012. 56f. 2015. Dissertação (Mestrado em Economia) – FGV, São Paulo, 2015.

MANGIARACINA, R.; SONG, G.; PEREGO, A. Distribution network design: a literature review and a research agenda. 2015. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 45, p. 506-531. DOI: https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2014-0035. Disponível em: <https://bit.ly/2GgpDKE>. Acesso em: 20 maio 2018.

MEDINA, Gabriel, et al. Development conditions for family farming: lessons from Brazil. **World Development**, v.74, p. 386-396, 2015.

PELET, Xavier; FAVRAT, Daniel; LEYLAND, Geoff. Multiobjectiveoptimisation of integrated energy systems for remote communities considering economics and CO_2 emissions. **International journal of Thermal sciences**, v. 44, n. 12, p. 1180-1189, 2005.

RAMEZANI, Majid; BASHIRI, Mahdi; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, Reza. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. **Applied Mathematical Modelling,** v. 37, n. 1, p. 328-344, 2013.

SILVA, Mariana Bergmann da. **Otimização de redes de distribuição física considerando incentivo fiscal baseado no crédito presumido de ICMS**. 115 f., 2007. Tese (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

UNFCCC. 2015. **Paris agreement 21st Conference of the Parties**. In: CONFERENCE OF THE PARTIES, 21., Paris. **Anais...** Paris: UNFCCC, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/paris-climate-change-conference-november-2015/cop-21>. Acesso em: 10 set. 2018.

UNFCCC. 2010. The Cancun Agreements. In: CONFERENCE OF THE PARTIES, 16., Cancun, 2010. **Anais…** Cancun: UNFCCC, 2010. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/cancun-climate-change-conference-november-2010/cop-16>. Acesso em: 10 set. 2018.

YOSHIZAKI, Hugo Tsugunobu Yoshida. **Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do imposto de circulação de mercadorias e serviços**. 144 f., 2002. Tese (Livre Docência em Produção) - Universidade de São Paulo, São Paulo,2002.

WANKE, P. F.; ZINN, W. Strategic logistics decision making**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,** Amsterdam, v. 34, n. 6, p. 466-478, 2004.

ZHANG, Dezhi et al. A multimodal logistics service network design with time windows and environmental concerns. **PloS one**, v. 12, n. 9, p. e0185001, 2017.

ZINN, W.; LEVY, M.; BOWERSOX, D. J. Measuring the effect of inventory centralization/decentralization on aggregate safety stock: he square root law revisited. **Journal of Business Logistics**, v.10, n. 1, p. 1–14, 1989