



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

YAN RINK AGUIAR FEITOZA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E FERRAMENTAS DE OTIMIZAÇÃO
PARA O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE
DISTRIBUIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO**

**SUMÉ - PB
2022**

YAN RINK AGUIAR FEITOZA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E FERRAMENTAS DE OTIMIZAÇÃO
PARA O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE
DISTRIBUIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras Silva.

**SUMÉ - PB
2022**



F311s Feitoza, Yan Rink Aguiar.

Simulação computacional e ferramentas de otimização para o problema de localização de centros de distribuição: estudo de caso. / Yan Rink Aguiar Feitoza. - 2022.

105 f.

Orientador: Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras Silva.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Simulação computacional. 2. Centros de distribuição. 3. Localização em centros de distribuição. 4. Modelos de simulação e otimização. 5. Gestão de distribuição. 6. Localização de instalações. 7. software anyLogistix. 8. Módulo Greenfield Analysis. 9. Módulo Network Optimization. 10. Módulo simulation. 11. Cadeia de suprimentos. 12. Simulação de processos. 13. Logística empresarial. I. Pereira, Fernanda Raquel Roberto. II. Silva, Yuri Laio Teixeira Veras. III. Título.

CDU: 658.78:004(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

YAN RINK AGUIAR FEITOZA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E FERRAMENTAS DE OTIMIZAÇÃO
PARA O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE
DISTRIBUIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA:

**Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras Silva.
Orientador - UAEP/CDSA/UFCG**

**Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo.
Examinadora Interna - UAEP/CDSA/UFCG**

**Professora Me. Luana Marques Sousa Farias.
Examinadora Interna - UAEP/CDSA/UFCG**

Trabalho aprovado em: 20 de outubro de 2022.

SUMÉ - PB

AGRADECIMENTOS

Sou profundamente grato, em especial aos meus pais Marlene e Ivanildo, pelo apoio, incentivo, investimento e esforço que ofereceram para que eu tivesse condições de realizar meus sonhos.

Um abraço especial a minha irmã Yasmin, que esteve comigo desde o início dessa jornada, contribuindo tanto quanto podia, principalmente nesta reta final, me auxiliando com correções e ideias.

Aos meus queridos amigos, que consegui durante este período de graduação, João Pedro, Júlio Cesar, Lucas e Marcelo, pelas centenas de horas de estudo compartilhadas, pelos diversos projetos realizados e, por me incentivarem a sempre buscar a excelência. Obrigado por me incentivarem a buscar experiências enriquecedoras.

Aos meus colegas de ProdUP, por compartilharem momentos comigo, que me proporcionaram experiências incríveis. Um agradecimento especial a Keren, pelas horas de trabalho compartilhadas e pelas suas contribuições nesta reta final, que foram importantíssimas para a construção deste trabalho.

Ao meu professor e orientador Yuri Laio, pelas aulas incríveis que me instigavam a ser curioso e buscar aprender mais e, por ter aceitado embarcar neste projeto comigo, suas colocações foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo, agradeço pelos direcionamentos, pelo incentivo a fazer melhor, pela paciência e disponibilidade.

Aos demais professores, colegas de curso e, aos funcionários do CDSA, que estiveram presentes na minha formação

Muito obrigado a todos!

*“É preciso um conhecimento considerável
apenas para perceber a extensão da
sua própria ignorância”*

- Thomas Sowell

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver modelos de simulação e otimização, para auxiliar na resolução de um problema, que visa a definição da localização para centros de distribuição, em uma empresa do setor alimentício. Para isso, foram utilizados os módulos *Greenfield Analysis* (GFA), *Network Optimization* (NO) e *Simulation* (SIM) do *software anyLogistix*. Foram coletados dados reais da empresa, para que fosse possível aplicar os modelos de simulação, simulando diversos cenários, com variações de demanda e de cidades candidatas. Os resultados com os experimentos realizados, permitiram encontrar localizações ótimas para sediar a nova instalação da organização, além de permitir a avaliação do impacto de cada localidade ótima, na cadeia de suprimentos da organização a partir de indicadores financeiros, de estoque e de *lead time*.

Palavras-chave: simulação computacional; abordagens de otimização; gestão de distribuição; localização de instalações

ABSTRACT

The objective of this work was to develop simulation and optimization models to help solve a problem that aims to define the location for distribution centers in a company in the food sector. For this, the Greenfield Analysis (GFA), Network Optimization (NO) and Simulation (SIM) modules of the anyLogistix software were used. Real data was collected from the company, so that it was possible to apply the simulation models, simulating several scenarios, with variations in demand and candidate cities. The results of the experiments allowed us to find optimal locations to host the organization's new facility, and to evaluate the impact of each optimal location on the organization's supply chain based on financial, inventory, and lead time indicators.

Keywords: computational simulation; optimization approaches; distribution management; facility location

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 -	Qual a melhor localização para o novo CD?.....	44
Mapa 2 -	Posicionamento dos Fornecedores.....	50
Mapa 3 -	Localização de clientes e fornecedores.....	52
Mapa 4 -	Cenário 1: Localização do novo CD.....	59
Mapa 5 -	Cenário 1: Cidades alternativas.....	60
Mapa 6 -	Cenário 1: Localização otimizada.....	61
Mapa 7 -	Cenário 2: Localização obtida.....	64
Mapa 8 -	Cenário 2: Clientes atendidos pelo novo CD.....	64
Mapa 9 -	Cenário 2: Local obtido no GFA.....	65
Mapa 10 -	Cenário 2: Cidades alternativas para o novo CD.....	66
Mapa 11 -	Cenário 2: Localização otimizada.....	66
Mapa 12 -	Cenário 3: Localização obtida no GFA.....	70
Mapa 13 -	Cenário 3: Local inviável obtido no GFA.....	71
Mapa 14 -	Cenário 3: Cidades alternativas para o novo CD.....	72
Mapa 15 -	Cenário 3: Localização otimizada.....	72
Mapa 16 -	Cenário 4: Localização do novo CD.....	75
Mapa 17 -	Cenário 4: Clientes atendidos por cada CD.....	76
Mapa 18 -	Ponto geográfico aumentado para cada CD.....	77
Mapa 19 -	Cenário 4: Alternativas para os CDs.....	77
Mapa 20 -	Cenário 4: Localização otimizada.....	78
Mapa 21 -	CD entre as maiores demandas.....	80
Mapa 22 -	Cenário 5: Localização do novo CD.....	83
Mapa 23 -	Cenário 5: Alternativas para os CDs.....	84
Mapa 24 -	Cenário 5: Localizações otimizadas.....	85
Mapa 25 -	Cenário 6: Localização dos novos CD.....	88
Mapa 26 -	Cenário 6: Alternativas para os CD's.....	89
Mapa 27 -	Cenário 6: Localizações otimizadas.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Trabalhos utilizados por cadeia e software.....	30
Quadro 2 -	Cronograma descritivo do estudo.....	40
Quadro 3 -	Cronograma gráfico: Parte 1.....	41
Quadro 4 -	Cronograma gráfico: Parte 2.....	42
Quadro 5 -	Detalhamento dos produtos.....	51
Quadro 6 -	Fornecedor por tipo de produto.....	52
Quadro 7 -	Demanda por cliente e produto.....	53
Quadro 8 -	Custo de transporte.....	55
Quadro 9 -	Frota e capacidade.....	55
Quadro 10 -	Custo de abertura de CD por local.....	56
Quadro 11 -	Custo de processamento por CD.....	56
Quadro 12 -	Cenário 1: Indicadores financeiros.....	61
Quadro 13 -	Cenário 1: Estoque disponível por produto.....	62
Quadro 14 -	Cenário 1: Lead time por produto.....	63
Quadro 15 -	Cenário 2: Indicadores financeiros.....	67
Quadro 16 -	Cenário 2: Estoque disponível por produto.....	68
Quadro 17 -	Cenário 2: Lead time por produto.....	68
Quadro 18 -	Cenário 3: Indicadores financeiros.....	73
Quadro 19 -	Cenário 3: Estoque disponível por produto.....	74
Quadro 20 -	Cenário 3: Lead time por produto.....	74
Quadro 21 -	Cenário 4: Indicadores Financeiros.....	79
Quadro 22 -	Cenário 4: Estoque disponível por produto.....	80
Quadro 23 -	Cenário 4: Lead time por produto.....	81
Quadro 24 -	Comparativo de lead time, cenários 1 e 4.....	81
Quadro 25 -	Cenário 5: Indicadores Financeiros.....	86
Quadro 26 -	Cenário 5: Estoque disponível por produto.....	86
Quadro 27 -	Cenário 5: Lead time por produto.....	87
Quadro 28 -	Cenário 6: Indicadores financeiros.....	91
Quadro 29 -	Cenário 6: Estoque disponível por produto.....	91
Quadro 30 -	Cenário 6: Lead time por produto.....	92
Quadro 31 -	Localizações em todos os cenários.....	92
Quadro 32 -	Indicadores financeiros em todos os cenários.....	93
Quadro 33 -	Estoque por cenário e produto.....	94
Quadro 34 -	Lead time por cenário e produto.....	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	PROBLEMA PESQUISA.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL.....	13
1.2.1	Objetivos específicos.....	13
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	16
2.1.1	Conceito.....	16
2.1.2	Gerenciamento da cadeia de suprimentos.....	17
2.1.3	Histórico.....	18
2.1.4	Desafios na gestão da cadeia de suprimentos.....	18
2.2	PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES.....	19
2.3	SIMULAÇÃO DE PROCESSOS.....	20
2.3.1	Simulação.....	20
2.3.2	Simulação computacional e modelagem.....	21
2.3.3	Softwares de simulação.....	22
2.4	TRABALHOS RELACIONADOS.....	23
2.4.1	Aplicações e softwares abordados em cadeia de suprimentos...	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	35
3.2	ETAPAS DA PESQUISA.....	36
3.2.1	Revisão de literatura.....	37
3.2.2	Definição do tema.....	38
3.2.3	Coleta de dados.....	38
3.2.4	Tratamento dos dados.....	38
3.2.5	Definição dos cenários.....	39
3.2.6	Simulação no software.....	39
3.2.7	Construção dos resultados.....	39
3.3	CRONOGRAMA DE ELABORAÇÃO.....	40
4	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	43
4.1	LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA.....	43
4.2	DESENVOLVIMENTO.....	45
4.2.1	Caracterização da empresa.....	45
4.2.2	Parâmetros dos experimentos.....	45
4.2.2.1	<i>Etapa 1 - Greenfield analysis experiment (GFA).....</i>	<i>47</i>
4.2.2.2	<i>Etapa 2 - Network Optimization (NO).....</i>	<i>48</i>
4.2.2.3	<i>Etapa 3 - Simulation (SIM).....</i>	<i>50</i>
4.2.3	Dados utilizados no experimento.....	51
5	RESULTADOS.....	57
5.1	ESTUDO DOS CENÁRIOS.....	58
5.1.1	Cenário 1 (cenário base) – Instalação de um novo CD considerando a existência do atual.....	58
5.1.1.1	<i>Definição da localização.....</i>	<i>59</i>

5.1.1.2	<i>Otimização da localização</i>	60
5.1.1.3	<i>Simulação final</i>	61
5.1.2	Cenário 2 – Instalação do novo CD considerando a existência do atual e com a demanda dobrada	63
5.1.2.1	<i>Definição da localização</i>	63
5.1.2.2	<i>Otimização da localização</i>	65
5.1.2.3	<i>Simulação final</i>	67
5.1.3	Cenário 3 – Instalação do CD considerando a existência do atual com queda na demanda	69
5.1.3.1	<i>Definição da localização</i>	69
5.1.3.2	<i>Otimização da localização</i>	70
5.1.3.3	<i>Simulação final</i>	72
5.1.4	Cenário 4 - Instalação de dois novos CDs sem considerar a existência do atual	74
5.1.4.1	<i>Localização dos novos CD</i>	75
5.1.4.2	<i>Otimização da localização</i>	76
5.1.4.3	<i>Simulação final</i>	78
5.1.5	Cenário 5 - Instalação de dois novos CDs sem considerar a existência do atual e com a demanda dobrada	81
5.1.5.1	<i>Localização dos novos CD's</i>	82
5.1.5.2	<i>Otimização da localização</i>	83
5.1.5.3	<i>Simulação final</i>	85
5.1.5.4	<i>Cenário 6 - Instalação de dois novos CDs sem considerar a existência do atual e com queda na demanda</i>	87
5.1.5.5	<i>Localização dos novos CD's</i>	88
5.1.5.6	<i>Otimização da localização</i>	88
5.1.5.7	<i>Simulação final</i>	90
5.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	92
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS	100

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Schwab (2016), na atualidade a humanidade passa por enormes mudanças, dentre elas a principal é a revolução tecnológica que acarreta uma transformação radical na forma como se vive, trabalha e relaciona-se. A Indústria 4.0 como é chamada essa revolução, promove uma série de alterações na coleta, análise de dados e nas formas de produção, alterando completamente os processos dos dias de hoje.

Exemplos de ferramentas da Indústria 4.0 como, o *Big Data* e a *Internet of things* ainda precisam ser melhor compreendidas, por se tratarem de tecnologias em desenvolvimento, que não estão amplamente disseminadas na maioria das empresas. Contudo, a tendência é que com o passar dos anos, cada vez mais empresas estejam envolvidas na quarta revolução industrial (SCHWAB, 2016).

No contexto de tratamento de dados, há uma necessidade cada vez mais pujante de coletar dados e, mais importante que isso, utilizá-los de forma consistente e assertiva para as tomadas de decisões nas organizações. Assim, na Engenharia de Produção não diferiria, nas mais diversas áreas os gestores utilizam dos dados para gerar informações e tomar decisões mais rápidas, com custos menores, em que os dados servem como respaldo para a resolução de problemas, assim como para a implementação de soluções.

Ainda de acordo com Schwab (2016), desde meados de 1940 os computadores influenciam o dia a dia da humanidade, o aumento da capacidade dessas máquinas proporcionou o surgimento de novas formas de analisar os processos empresariais e cotidianos. Uma ferramenta que se destacou foi a simulação computacional, que segundo Pegas (2017), é uma relação lógica constituída de um modelo que visa compreender como um processo real funciona, conseguindo reproduzir praticamente qualquer operação real.

Dessa forma, a simulação é uma ferramenta ampla que engloba tanto a construção do modelo de um sistema quanto os apontamentos que o sucedem, visando entender o comportamento do sistema, formular hipóteses e prever os efeitos oriundos das alterações realizadas no modelo.

A *Supply Chain* ou Cadeia de Suprimentos é, atualmente, um dos sistemas mais complexos, estando envolto sob um mercado globalizado, contando com inúmeros agentes, processos, grande volume de dados e em constante mudança

devido ao avanço tecnológico. A cadeia de suprimentos envolve diversas atividades funcionais (transporte, estoque, relação com fornecedores, etc.) que são rotineiras e repetitivas no processo pelo qual os insumos são convertidos em produtos acabados que agregam valor ao cliente final, já que as matérias-primas, fábricas, varejistas e atacadistas estão em locais distintos têm-se diversas atividades complexas envolvidas a serem realizadas (BALLOU, 2006).

Os gestores das organizações têm em mãos enormes desafios para tomar decisões que envolvam a *supply chain*, sejam elas relacionadas a fornecedores, insumos, localizações, transportes e processos. Pela magnitude do sistema, independente das mudanças realizadas, suas consequências podem ser imprevisíveis, não se compreendendo muito bem seus impactos e custos necessários para realizá-las (SIVIERO; DÁVALOS, 2020).

Na atual realidade da globalização e com o crescimento acentuado dos *E-commerce*, dois dos pontos principais para garantir a satisfação dos clientes é o tempo de entrega e o custo de frete (SILVEIRA, 2021). Nessa conjuntura, métodos de simulação são amplamente estudados no âmbito de localização das instalações. A localização estratégica dos centros de distribuição para Zhang *et al.* (2021), é um dos mais importantes e antigos problemas a serem otimizados no sistema logístico, pois um centro de distribuição bem planejado pode aumentar a eficiência, diminuir custos logísticos, assim como também garantir a satisfação dos clientes, além disso, no cenário atual a agilidade na entrega para os compradores se tornou um dos principais fatores a serem considerados para a escolha do local.

Como destaca Ballou (2006), decisões que envolvem a escolha de instalações fixas são de alta complexidade, já que envolvem escolha do local, proporções das instalações, custos, níveis de investimento, número de instalações e planejamento de longo prazo. Sendo assim, diversos modelos de simulação têm surgido para contribuir com a resolução de problemas relacionados a escolhas das localizações estratégicas.

A simulação se mostra como uma ferramenta oportuna para a compreensão de problemas complexos como os supracitados, pois consegue criar um ambiente com milhares de entes com interações entre si, permitindo realizar-se modificações no sistema de maneira simples e rápida, expondo suas consequências em toda a cadeia (MOOSAVI; HOSSEINI, 2021).

Portanto, com os obstáculos originados pelo gerenciamento da cadeia de suprimentos, as empresas visualizam a simulação computacional como uma poderosa

aliada no processo decisório. Isso deve-se ao fato de que os modelos de simulação vêm se mostrando muito eficientes na resolução de problemas complexos, apresentando excelentes resultados na análise de mudanças sugeridas ou na construção de um novo sistema, assim, quando o modelo é bem compreendido ele fornece esclarecimentos sobre questões importantes com rápidas respostas e custos mais baixos em relação a mudanças e experimentos reais (BATEMAN *et al.*, 2013).

1.1 PROBLEMA PESQUISA

Tendo em vista o problema de escolhas de instalações e, da necessidade da organização em tomar decisões relativas a estratégias de distribuição, fez-se necessário realizar um estudo, em que a pergunta do problema pesquisa é: “Quais seriam os melhores locais para uma empresa do setor alimentício instalar centros de distribuição?”.

Salienta-se que a empresa está analisando qual seria a opção mais interessante para melhorar a gestão da cadeia de suprimentos, no primeiro cenário buscando a instalação de um novo CD apenas, continuando com o atual ou um segundo cenário que conta com a construção de dois novos centros, sendo um destes, para substituir o atual.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver modelagens e experimentos de otimização e simulação computacional para a tomada de decisão em estratégias de distribuição de uma empresa do setor alimentício.

1.2.1 Objetivos específicos

- I. Modelar o problema a ser tratado, de modo a melhor compreender suas características, parâmetros, restrições e variáveis de decisão;
- II. Implementar modelos de simulação computacional baseados em via *anyLogistix* para o problema de definição de sistemas de distribuição da organização;
- III. Aplicar métodos de otimização matemática, fundamentados em programação inteira, para a definição de localizações de instalações da organização;

- IV. Analisar os resultados computacionais alcançados com as abordagens de simulação e otimização aplicadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A temática proposta para ser estudada neste trabalho foi selecionada devido a sua relevância para as organizações. A escolha estratégica de facilidades para instalação de centros de distribuição tem potencial para reduzir custos e aumentar a satisfação dos clientes, porém, problemas nessa área são complexos e geram enormes dificuldades para a tomada de decisão por parte dos gestores, motivando a realização deste trabalho (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Todo consumidor exige diferentes características a serem cumpridas pelas organizações, em relação a tempo de entrega, qualidade do produto, canais de vendas e informações de acompanhamento. Em decorrência disso, a cadeia torna-se muito complexa e difícil de controlar, assim, nessas circunstâncias surgem técnicas, ferramentas, além de modelos para auxiliar os líderes a desenvolverem uma visão sistêmica, capaz de englobar toda cadeia de modo a atender as necessidades dos clientes (BALLOU, 2006).

Nesse cenário, um dos problemas de maior significância nas operações empresariais é o de escolha estratégica de instalações das companhias. Definir o local para implantação de CDs em localidades estratégicas é uma decisão complicada e crucial para o crescimento do negócio, devendo buscar estar próximo dos principais clientes, assegurando agilidade no recebimento, assim como na entrega dos produtos, diminuindo custos de distribuição, além de poder obter incentivos fiscais. (BORELLA; SILVA, 2019).

Um *trade-off* realizado de maneira errônea considerando os fatores supracitados pode implicar numa péssima decisão de instalação, podendo acarretar enormes custos de distribuição além de gerar gargalos em diversos pontos da cadeia de suprimento, conseqüentemente elevando os tempos de entrega.

Diante dessa situação existem inúmeras ferramentas disponíveis para auxiliar na questão de escolha da melhor localização estratégica, possibilitando redução de custos e incremento da eficiência dos procedimentos de transporte, enquanto promove a redução dos tempos de entrega, os quais são de notória relevância para o setor e todas as empresas envolvidas. Dentre essas ferramentas utilizadas para

entender esse problema destaca-se a simulação computacional, que se difundiu muito com os avanços tecnológicos (VAZ; MALDONADO, 2017).

São variados os conceitos de simulação, pode-se dizer que, esta é uma maneira de projetar e experimentar um cenário real, recorrendo a um modelo que viabilize a criação de eventos, capazes de mostrar quais seriam os impactos das alterações, contribuindo para a tomada de decisão (BATEMAN *et al.*, 2013).

Bergue (2000), aborda em seu estudo, os ganhos que a simulação computacional pode gerar nas operações logísticas, seja na diminuição das incertezas, acerca das consequências decorridas de mudanças em sistemas complexos, diminuindo riscos, custos e tornando possível o gerenciamento de sistemas complexos, assim como na modificação de políticas e procedimentos nas atividades de armazenagem realizadas após simulação de cenários, que possibilitaram uma redução de cerca de 6% das perdas nesse tipo de operação.

Assim, esse trabalho visa servir de subsídio para tomada de decisão da escolha do local para um centro de distribuição a partir de um modelo de simulação feito mediante estudo em uma empresa privada que atua no setor alimentício.

Para além de contribuir com a empresa, outra motivação para a execução deste estudo, provém da dificuldade de encontrar publicações no Brasil, referentes ao uso da simulação computacional em decisões que envolvam cadeias de suprimentos, principalmente utilizando o *software anyLogistix*.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em seis capítulos, incluindo este primeiro. No capítulo 2, está disposto referencial teórico abordando cadeia de suprimentos e simulação computacional, bem como a revisão de literatura realizada para auxiliar na produção deste trabalho, que permitiu identificar os melhores *softwares* para lidar com problemas de *supply chain*. No capítulo 3 estão dispostos os materiais e métodos adotados para a produção do estudo. O capítulo 4 mostra a descrição do problema, detalhando todos os tipos de experimentos realizados, bem como todos os parâmetros utilizados para a realização dos mesmos. O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos a partir das modelagens realizadas. Por fim, no capítulo 6, é apresentada a conclusão do trabalho, bem como algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os três pilares deste trabalho são: a gestão da cadeia de suprimentos, localização de facilidades e a simulação computacional no contexto da *supply chain*. Primeiramente será desenvolvido o referencial teórico referente a cadeia de suprimentos, em seguida, serão abordados os tópicos de localização de facilidades, simulação e modelagem, assim como os trabalhos abordados por este estudo.

2.1 CADEIA DE SUPRIMENTOS

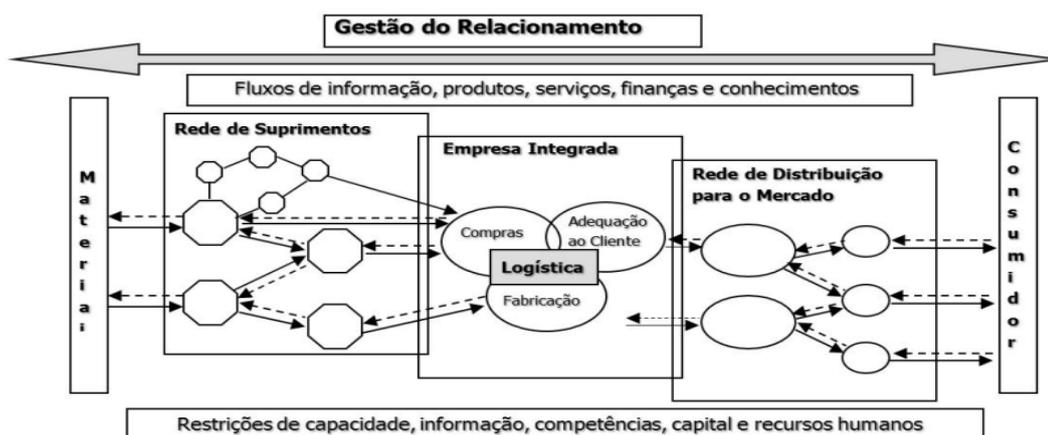
2.1.1 Conceito

O conceito geral de *Supply Chain* elucida um sistema de conexão entre empresas, fornecedores e clientes que conforme Bowersox, Closs e Cooper (2007), deve ser dirigido de forma integrada desde a aquisição de insumos até a entrega do produto acabado ao cliente final, ocorrendo o desfecho da cadeia de suprimentos.

Para Pires (2007), Cadeia de Suprimentos pode ser definida como um conjunto de processos que envolvem fornecedores, clientes e empresas desde a fonte de obtenção da matéria-prima até o ponto de consumo do produto acabado.

De acordo com Novaes (2007), a cadeia de suprimentos atual é composta por um conjunto de empresas que produzem matérias-primas, elementos e subsistemas que alimentam grandes empresas, gerando a integração de processos comerciais e industriais, partindo desde os fornecedores primários até os clientes finais, fabricando produtos como também prestando serviços que gerem valor para os consumidores.

Figura 1 - Modelo Conceitual da Cadeia de Suprimentos.



Fonte: Bowersox *et al.* (2007).

2.1.2 Gerenciamento da cadeia de suprimentos

São diversas as definições para o termo Gestão da Cadeia de Suprimentos ou *Supply Chain Management (SCM)*, tanto no meio empresarial quanto acadêmico. Todos os conceitos utilizados pelos especialistas acabam por ser complementares e variam conforme a visão de cada autor sobre o tema.

Como abordam Bowersox, Closs e Cooper (2007), a gestão da cadeia de suprimentos consiste na cooperação entre diversos entes, de modo a estimular a gestão estratégica e melhorar a eficiência das operações, buscando integrar as áreas funcionais da organização entre si.

Em consonância com o Conselho de Profissionais de Gestão da Cadeia de Suprimentos (2022) ou *Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP)*, a SCM é a gestão ativa das operações da cadeia de suprimentos visando potencializar o valor para os clientes alcançando vantagens competitivas. As atividades da cadeia de suprimentos cobrem tudo, desde o desenvolvimento do produto, insumos, produção e logística, além de todos os sistemas de informação necessários para gerir essas atividades.

Seguindo a mesma linha Ballou, (2006), conceitua o gerenciamento da cadeia de suprimentos como um termo recente que abrange todas as interações logísticas que ocorrem entre as funções de marketing, logística e de produção no âmbito empresarial, além disso, o gerenciamento tornou capaz implementar oportunidades de melhoria em termos de custo e nível de serviço para os clientes em consequência da coordenação e colaboração integrada entre os entes que integram a cadeia.

Conforme Pires (2007), a gestão da cadeia de suprimentos é uma área contemporânea, a qual é nitidamente multifuncional e engloba diversas atividades e áreas tradicionais das empresas habituais, podendo ser considerada um ponto de convergência na expansão de outras áreas tradicionais.

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é uma nova maneira de se lidar com problemas logísticos que compõe a quarta fase da logística, basicamente ela busca a incorporação entre processos ao longo da *supply chain*, abrangendo o fluxo de materiais, de informação e de investimento, visando uma atuação uníssona de maneira estratégica, buscando a maximização de resultados em termos de redução de custos, de desperdícios, agregando valor para o cliente final (NOVAES, 2007).

2.1.3 Histórico

Os primeiros processos da cadeia de suprimentos ocorrem desde a antiguidade, na qualos produtos eram produzidos por artesãos que eram responsáveis por todo o ciclo produtivo. Geralmente o artesão era proprietário dos recursos produtivos, que posteriormente passaram a fazer associações com donos de oficinas para atuar como autônomos, na qual a convivência com diversos outros profissionais gerou uma divisão de tarefas natural entre os indivíduos (PIRES, 2007).

O compartilhamento e divisão de tarefas promoveu o aumento da capacidade de produção e da demanda, assim, os donos das oficinas passaram a tornar-se empresários de comércios, estabelecendo pela primeira vez a relação fornecedor/cliente a nível empresarial.

Com o surgimento da revolução industrial, surgiram máquinas com maior capacidade de produção, mais caras. De acordo com Pires (2007), neste período, ocorreram enormes mudanças que se aplicam até os dias atuais na gestão da cadeia de suprimentos.

A outra grande evolução passada pelas cadeias de suprimento, foram os novos modelos surgidos no Japão, Pós-Segunda Guerra Mundial. Nesse período surgiram diversas inovações tecnológicas que permitiram revolucionar como eram produzidos e entregues os produtos assim como os insumos. Conforme Pires (2007), outra grande contribuição oferecida pelo modelo *Just in Time* foi a gestão estratégica de relacionamentos colaborativos com os fornecedores, permitindo um enorme salto na qualidade dos produtos ou serviços oferecidos.

2.1.4 Desafios na gestão da cadeia de suprimentos

A gestão da cadeia de suprimentos caracteriza-se, como um dos principais pontos de atenção dos gestores das organizações. Isso deve-se ao fato de que os efeitos dos processos envolvidos na área causam um forte impacto nos resultados das empresas, tornando a gestão da cadeia imprescindível à medida que também é bastante complicada de ser bem planejada (BALLOU, 2006).

Com o crescimento do número de parceiros, processos em locais distintos, aumento do número de dados coletados além da globalização dos mercados, a tendência é se ter uma cadeia de suprimentos cada vez mais complexa. Antigamente, os processos eram mais simples e poucos agentes se relacionavam, atualmente,

conforme se passam os anos, novas tecnologias surgem, mais agentes participam da cadeia, novos fluxos aparecem e, nessa circunstância, surge um dos principais desafios para os líderes lidar com a complexidade da *supply chain* ao ter que gerir todos esses processos e, simultaneamente conseguir manter todos os elos da cadeia em sinergia (PIRES, 2007).

Com o alto nível de complexidade da cadeia pode-se considerar que uma única empresa não consegue gerir totalmente o seu canal de fluxo de produtos, desde a extração de sua matéria-prima até os locais de consumo (BALLOU, 2006). Neste contexto se tem um dos problemas fundamentais na gestão da cadeia de suprimentos: o relacionamento com os fornecedores. As soluções para superar falhas relacionadas a fornecedores podem estar atreladas a uma comunicação mais clara de informações importantes para os elos da cadeia.

Ainda de acordo com Ballou (2006), quando se fala em melhoria na comunicação entre os agentes da cadeia não há como não citar os desafios causados pelas atividades de distribuição e transporte, principalmente no Brasil há inúmeros motivos para evidenciar o grande desafio que é para as empresas lidar com esses processos, estes são alguns dos que mais necessitam de recursos da organização. Outro grande obstáculo relacionado a cadeia de suprimentos é a mensuração de resultados, embora analisar o desempenho de forma quantitativa seja crucial para as organizações, nem sempre é fácil analisar o impacto que, por exemplo, um atraso de matéria-prima causa em todas as atividades que sucedem e o efeito disso no consumidor final.

2.2 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

Segundo Arenales *et al.* (2007), problemas relacionados a localizações de facilidades é um fator crucial a ser considerado no planejamento estratégico das organizações públicas e privadas. Buscar a definição do local ideal de escolas, centros de saúde, fábricas, armazéns e centros de distribuição são exemplos inerentes desse cenário. Os parâmetros normalmente considerados neste tipo de problemas são:

- I. Clientes;
- II. Conjunto de locais candidatos;
- III. Demanda do cliente;
- IV. Distância do cliente até a facilidade;
- V. Custo de atender a demanda a partir da facilidade;

- VI. Custo fixo de instalação de uma facilidade;
- VII. Capacidade da facilidade instalada.

Decisões relacionadas a escolha de facilidades são extremamente impactantes, independentemente do setor da organização, estando atrelada diretamente ao desempenho da empresa. São diversos os fatores que impactam nesta decisão, como minimização de custos, proximidade de consumidores e fornecedores, infraestrutura da região dentre outros parâmetros (DALTRO, 2013).

No mundo globalizado, esse tipo de decisão ficou ainda mais complexa, devido principalmente a vasta quantidade de fornecedores e consumidores com os quais as empresas se relacionam. Se trata de uma das decisões mais importantes que uma empresa pode tomar, seja no setor de produção de bens ou de prestação serviços, é natural que muitas delas começaram a buscar métodos científicos que pudessem apoiar na tomada de decisão quanto à localização de novas facilidades (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

2.3 SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

2.3.1 Simulação

Simulação trata-se da experimentação de situações reais, consolidadas em sistemas, por meio de modelos construídos utilizando dados e parâmetros coletados de maneira sistemática no ambiente. A mesma oferece a oportunidade de criar e simular acontecimentos pretendidos, tornando possível conferir quão representativas seriam as alterações, contribuindo, desta maneira, com a tomada de decisões pelos gestores das organizações (BATEMAN *et al.*, 2013).

Conforme Chung (2004), simulação é um processo de criação e experimentação que utiliza um modelo computadorizado para representar um sistema real, no qual é composto por uma coleção de interações entre componentes que recebem *inputs* e provém *outputs* com algum propósito estabelecido.

A simulação é um procedimento que analisa o comportamento e ações de um sistema, que imita parcial ou totalmente o comportamento e propriedades da situação real em uma escala menos abrangente, tonando possível sua análise (PARAGON TECNOLOGIA, 2000).

2.3.2 Simulação computacional e modelagem

A evolução acentuada da computação ocasionou uma também grande revolução no que tange a simulação. A simulação realizada por computadores passou a ser utilizada em várias áreas, isso foi possível, pois o computador criou um ambiente virtual a ser alimentado com propriedades e parâmetros do sistema real, em que é possível a realização de testes. O computador efetua todos os cálculos pertinentes do ambiente virtual com as teorias em estudo e expõe os resultados da forma definida pelo modelador (PARAGON TECNOLOGIA, 2000).

Para Grigoryev (2015), de forma resumida, a simulação em *software* ocorre nas seguintes etapas:

- I. Realização de estudo sobre o comportamento e funcionalidades do sistema que será simulado, coletando dados necessários;
- II. Construção do modelo no *software* que será utilizado;
- III. Realização da simulação no *software*, que irá fazer funcionar o modelo gerando resultados;
- IV. Análise dos resultados obtidos na simulação, e baseado nas conclusões, novas mudanças ou ajustes devem ser realizados.

A modelagem é uma maneira que permite a resolução de problemas do ambiente real. Em diversos casos, as organizações não podem arcar com experimentos em sistemas e objetos reais para testar ou encontrar soluções, pois muitas das vezes é necessário construir, destruir e fazer alterações nesses sistemas que geralmente são caras, perigosas e até mesmo impossíveis. Nestas situações, é viável construir um modelo que utilize linguagens de modelagem para representar o sistema real, em que sempre, o modelo menos complexo do que a realidade (GRIGORYEV, 2015).

Figura 2 - Mundo real x Modelos.



Fonte: Grigoryev (2015).

2.3.3 Softwares de simulação

Em decorrência do aumento da popularidade da simulação como ferramenta de análise de problemas, iniciou-se o desenvolvimento de vários *softwares* de simulação, com aplicações nas mais diversas áreas. Praticamente todas essas ferramentas que realizam simulações custam uma quantia de capital considerável, então tornou-se necessário para as empresas adquirirem licenças de uso, no qual sua seleção apropriada um fator crucial para que um projeto de modelagem tenha sucesso (SALIBY, 1997). Alguns dos *softwares* de simulação mais conhecidos e adquiridos pelas empresas são: *AnyLogic*, *anyLogistix*, *Arena*, *FlexSim* e *Simio*.

O *AnyLogic* aparece como um dos *softwares* mais completos e utilizados pelo mercado, que de acordo com a *Anylogic Company* (2022), o *AnyLogic* trata-se de uma ferramenta de modelagem e simulação multicritério desenvolvida e ofertada pela *The AnyLogic Company*, o *software* permite que os usuários retratem e modelem virtualmente qualquer sistema e processos empresariais. Para Wang *et al.* (2013), *AnyLogic* é um *software* desenvolvido por tecnologias baseadas na linguagem Java consistindo nos três modelos mais comumente utilizados na simulação: eventos discretos, agentes e sistemas dinâmicos. Além disso, o mesmo trata-se de uma

ferramenta utilizada para criar um ambiente virtual prototipando o ambiente real, desenhado para abranger o comportamento de sistemas complexos.

Outro que aparece como largamente utilizado é o *ARENA*, que para Rockwell Automation (2022), o *software ARENA* é largamente utilizado para modelagem e simulação discreta de sistemas, podendo ser utilizado nas mais diversas áreas como: aeroportos, cadeias de suprimentos e varejo.

De acordo com Diamond *et al.* (2002), O *FlexSim* é uma ferramenta distinta da maioria dos *softwares* disponíveis no mercado, o mesmo permite o desenvolvimento de modelagens tanto em ambiente 2D quanto 3D, o *software* pode ser utilizado para simulações industriais, de logística e transportes. Trata-se de um *software* de simulação discreta com disponibilidade de uma versão gratuita para estudantes (*FLEXSIM*, 2022).

Segundo a *Anylogic Company* (2022), o *anyLogistix* trata-se de um *software* para projeto, análise e otimização das operações da cadeia de suprimentos, com ele é possível modelar a cadeia das empresas, em que é possível obter *insights* úteis, responder perguntas estratégicas para desenvolver todo o planejamento e gerenciamento da cadeia de suprimentos.

2.4 TRABALHOS RELACIONADOS

Para auxiliar no desenvolvimento deste estudo foi realizado uma revisão de literatura, buscando entender os trabalhos desenvolvidos na área de simulação computacional, para analisar suas principais aplicações, tipos de problemas enfrentados, assim como identificar os *softwares* utilizados.

Chiarini *et al.* (2004), objetivaram entender o comportamento da cadeia de suprimentos de uma empresa de petróleo tendo como eixo os fluxos e estoques. Os autores construíram um modelo de simulação para ilustrar a cadeia que proporcionasse um entendimento razoável de todas as operações desenvolvidas, analisando consumo por famílias de petróleo e a produção nas refinarias. O trabalho serviu de base para tomada de decisão e como subsídio para um projeto seguinte de desenvolvimento de uma modelagem ainda mais robusta.

Oliveira e Carvalho (2004), discutem o impacto que a distribuição de informações tem nas operações da cadeia de suprimentos e atestam que com uma maior troca de informação os ganhos no nível de serviço são visíveis. O intuito dos autores, foi analisar o impacto das estratégias de enfoque distribuído e centralizado

na gestão da cadeia de suprimentos. O trabalho utilizou de um modelo de simulação que mostrou três cenários: troca de informação tradicional, compartilhamento da informação de demanda e informações centralizadas na fábrica. Os cenários foram analisados com base em índices de desempenho como, nível de serviço, estoque médio e razão dos desvios-padrão. O estudo mostrou que, quanto maior for a colaboração entre os integrantes da cadeia, melhores serão os resultados obtidos, possibilitando um aumento da competitividade e do desempenho da cadeia.

No contexto de aumento de competitividade oriundo da globalização dos mercados, Oliveira (2004), discute a estruturação de parcerias estratégicas entre companhias com interesses concomitantes. Em seu trabalho o autor buscou a partir de um modelo de simulação analisar os impactos de diferentes estratégias de gestão para exploração de novas oportunidades de negócios por parte das empresas envolvidas. No modelo o autor simulou cenários com características distintas e os avaliou em relação a determinados índices de performance: nível de serviço, nível de estoque e nível de pedidos. Os resultados demonstraram que as estratégias em que ocorreram troca de informações obtiveram melhores desempenhos.

Vieira e Dall'Agnol (2006), abordam que muitas vezes a utilização de novas técnicas nas cadeias de suprimentos enfrenta uma barreira para avaliar as vantagens e benefícios gerados pela adoção das mesmas em comparação com os investimentos necessários para implementá-las. Nesse contexto, os autores usam uma simulação que permite avaliar estratégias antes de sua efetivação. Os autores desenvolveram um modelo de simulação para analisar o efeito do planejamento colaborativo entre os entes da cadeia, foram simulados vários cenários, na qual sucedeu-se comparações pelo índice do nível de estoque e nível de serviço. O trabalho mostra a importância do compartilhamento de informação entre os agentes da cadeia e o seu potencial para reduzir os níveis de estoque, assim como as consequências do efeito chicote nas empresas.

Para Alves e Tommelein (2007), experimentações na cadeia de suprimentos podem ser muito caras e demandarem muito tempo, nesse contexto observa-se a importância da utilização da simulação para buscar um melhor entendimento da cadeia de suprimentos. O trabalho das autoras sugere um modelo de simulação da cadeia de suprimentos de ar-condicionado no contexto da construção civil, na qual foram modelados cenários que serviram de base para análise do impacto da variação

da duração das operações e assim avaliar o tempo que cada cenário leva para a conclusão do projeto de instalação dos dutos.

Dukulis (2008), discute fatores relevantes que levaram a União Europeia a definir como diretriz o aumento do uso de biocombustível no continente. Apesar da meta, alguns países não estão tendo bom nível de desempenho em atingi-la, para o autor isso se deve ao fato de os custos envolvidos nesse tipo de produção estarem muito acima dos custos de combustíveis derivados de petróleo. Nessa circunstância o autor desenvolveu um modelo de simulação a fim de otimizar a cadeia de suprimentos de biocombustíveis. O trabalho indicou que o principal causador de custos para o biocombustível é o cultivo do insumo necessário para sua produção.

Valadão e Ferreira (2009), apresentam a simulação multiagente como muito oportuna para o entendimento de fatores econômicos e sociais. Nesse âmbito, os autores desenvolveram um modelo de simulação para avaliar estratégias de escolhas de fornecedores, analisando seu desempenho em índices como o capital acumulado pelo agente e número de pedidos recebidos e entregues. O trabalho aponta que as estratégias em que se teve cooperação entre os entes da cadeia atingiram desempenhos mais formidáveis.

Para Ferreira (2009), modelos de simulação são muito úteis no entendimento e na análise dos impactos de políticas de gestão nas cadeias de suprimentos, que para o autor são mecanismos complexos compostos por fornecedores, fábricas, armazéns, atacadistas e varejistas, todos estes responsáveis por transformar o produto e entregar aos consumidores. Nesse âmbito o autor desenvolveu um modelo de simulação no *software ARENA* para contribuir com o estado da arte da cadeia de suprimentos, para isso ele adotou a cadeia de biodiesel. O trabalho construiu dois cenários para a produção de biodiesel: um cenário com uma rota metálica e o outro com rota etílica.

Silva (2010), propõe um modelo de simulação que aborda estratégia colaborativa VMI (Vendor Managed Inventory) em uma empresa de minério de ferro e seus respectivos parceiros da cadeia de suprimentos. O autor comparou a dinâmica atual da cadeia com cenários construídos no modelo sob a ótica de níveis de inventário, efeito chicote, nível de serviço e custos totais. O estudo utilizou dados reais, o que permitiu que as conclusões pudessem ser realistas, servindo de orientação para mercados semelhantes.

Pawlewski *et al.* (2012), tiveram como propósito solucionar um dos problemas essenciais da manufatura, estruturar um sistema de entregas. Os autores, em seu estudo de caso, fizeram um sequenciamento das entregas de contêineres com janelas de carros para a linha produtiva, no qual, eles utilizaram da simulação computacional para chegar à resolução do problema. Esse é um problema complexo, pois envolve a cadeia de suprimentos automotiva que, no que lhe concerne, tem muitos sistemas e agentes atuando com alto volume de produção com um compartilhamento volumoso de dados. Os autores produziram um modelo de simulação complexo gerando uma dinâmica entre os *softwares FlexSim* e Excel, em que os colaboradores inseriram dados referentes a produção em tempo real e essas informações eram utilizadas como base para simular a quantidade de contêineres no ambiente, esse modelo buscou minimizar os desperdícios facilitando a tomada de decisão dos gestores.

Com o desenvolvimento dos mercados econômicos a concorrência entre empresas evoluiu, para competição entre cadeias de suprimentos. Além disso, as cadeias estão cada vez tendo que entregar produtos personalizados, com custos menores. Nesse contexto, um modelo de simulação foi desenvolvido no *software AnyLogic*, com o intuito de comparar a cadeia de suprimentos tradicional com a cadeia de suprimentos ágil. O trabalho mostrou as vantagens da cadeia ágil em comparação com a outra, verificando o comportamento dos estoques, custos, assim como do efeito chicote (ZHANG; WANG; WU, 2012).

Para Mendes, Correia e Tozi (2012), a simulação tem um papel importantíssimo para avaliar a qualidade e produtividade dos sistemas logísticos. O trabalho dos autores modelou um sistema de terminal de cargas em um aeroporto, gerando um cenário alternativo com mudanças em relação à realidade, possibilitando à empresa enxergar o impacto de algumas alterações em sua produtividade e custos.

Wang *et al.* (2013), buscaram apresentar um modelo de simulação da cadeia de abastecimento automotiva tendo como foco os fabricantes, incluindo também diversos fornecedores e prestadores de serviços logísticos. O trabalho dos autores simulou cenários, na qual foram comparados custo de pedido, de retenção, de falta de estoque, assim como o impacto do tempo de espera na satisfação do cliente final. O modelo desenvolvido no *software AnyLogic* utilizou de simulação discreta, contínua e baseada em agentes.

Para Granados, Hernández e Lyons (2014), a cadeia de suprimentos automotiva tem uma estrutura hierárquica definida, na qual as fábricas trocam

informações de previsões com seus fornecedores, fazendo com que eles estejam preparados para lidar com os requisitos futuros. Nesse contexto, os autores construíram um modelo de simulação de um fornecedor de peças para montadoras. O objetivo do modelo foi avaliar a linha de produção e identificar gargalos, as análises foram feitas a partir da modelação de vários cenários.

Frazzon *et al.* (2015), abordaram o tema de planejamento de peças para manutenções nas empresas, na qual desenvolveram e simularam dois modelos da cadeia de suprimentos de peças de reposição, sendo um modelo sem planejamento, outro com planejamento, eles buscaram comparar os modelos de modo a obter otimizações para o processo. A ocorrência de falhas em máquinas e equipamentos é bastante rotineira dentro dos negócios causando perdas financeiras e de produtividade, o modelo simulado pelos autores serviu para observar-se a importância do planejamento dos sistemas de manutenção.

Silva *et al.* (2015), propõem alternativas de alocação de recursos para impulsionar a produtividade em uma empresa, aumentando sua produção de bandejas de produtos oriundos do palmito de pupunha. Foi construído um modelo de simulação que permitiu simular quatro cenários com diferentes alocações de recursos que foram posteriormente analisados e confrontados com a situação real da empresa. Em seu modelo, os autores recorreram à simulação híbrida, simulação de eventos discretos e da simulação baseada em agentes.

Segundo Becker (2016), a teoria das restrições (TOC) é muito aplicada em ambientes fabris, porém pouco utilizada em outros contextos. Nessa conjuntura, a autora desenvolveu um modelo de simulação testando os efeitos da teoria das restrições na cadeia de suprimentos do varejo. A autora modelou situações para comparar o cenário vigente, com um cenário da aplicação da nova estratégia. Com a nova estratégia aplicada, o modelo apresentou bons resultados, como a diminuição no percentual de rupturas, o aumento do capital de giro e o aumento do lucro líquido.

Pegas (2017), discutiu os impactos da inserção da manufatura a partir da impressão 3D e os comparou com a manufatura tradicional. O autor fez isso a partir de um modelo de simulação desenvolvido no *software AnyLogic*, no qual foram construídos cenários que alteram a quantidade de produtos vendidos. Posteriormente, o autor analisou os cenários utilizando índices de desempenho, como: custo do estoque do sistema de manufatura tradicional, a renda do sistema tradicional e o lucro do sistema de manufatura de impressão 3D. O objetivo do autor foi simular, recorrendo

a modelagem multiagentes, o desempenho da cadeia de suprimentos ao agregar a fabricação de produtos a partir da impressão 3D.

Como consequência da era da sustentabilidade, as indústrias atravessam uma radical mudança nas suas cadeias de suprimentos que além de seu modelo tradicional, precisa englobar a logística reversa. As cadeias de suprimentos já possuem uma enorme complexidade, com a adição dessa categoria de fluxo, a tendência é que se torne ainda mais, fazendo surgir novos problemas e ampliando o efeito chicote. Os autores buscaram analisar o comportamento do efeito chicote dentro de uma cadeia com logística reversa, para isso desenvolveram um modelo que incorporou os fluxos reversos, a partir dos resultados pode-se perceber a amplificação do efeito chicote em uma empresa do setor eletroeletrônico (VAZ; MALDONADO, 2017).

Bauer *et al.* (2019), apresentam um modelo de simulação desenvolvido para melhorar a tomada de decisão no que tange alocação de máquinas e equipamentos para a realização de manutenções de gasodutos e oleodutos. O estudo mostrou a necessidade da empresa de equipar certas unidades responsáveis pela atividade com alguns recursos, trazendo flexibilidade e assim reduzindo custos de transporte.

Srinivas (2019), discute a melhor estratégia a ser adotada para o controle de estoque de uma cadeia de abastecimento com um único fornecedor. O autor desenvolveu um modelo de simulação no *software FlexSim* que abordou diversas estratégias analisando seu impacto em índices de desempenho como: número de remessas, número de entregas atrasadas, quantidade de pedidos e nível médio de estoques.

Para Cavalcante (2019), os recursos disponíveis estão cada vez mais escassos, sendo necessário produzir mais, minimizando os recursos gastos. Nesse contexto, o autor buscou integrar a simulação e *machine learning* (ML) para resolver um dos problemas tradicionais da manufatura, a seleção de fornecedores. A partir dessa conjuntura, o autor desenvolveu cenários, nos quais realizou experimentações avaliando o desempenho do modelo em relação à tomada de decisão dos fornecedores. Os resultados do trabalho indicaram que a utilização da ML conseguiu apoiar a tomada de decisão, trazendo uma alta previsão do desempenho da entrega no prazo dos fornecedores.

Ren *et al.* (2019), consideram o pallet uma valiosa inovação que está presente em quase todas as operações logísticas, e nesse contexto, surgiram estratégias para

buscar o gerenciamento mais eficiente de paletes, as mais comuns: gerenciamento extensivo de pallets, transferência de pallets e aluguel de pallets. No trabalho os autores buscaram encontrar a melhor estratégia no contexto da cadeia de suprimento, considerando os custos envolvidos na gestão de pallets. A análise foi feita a partir de simulações realizadas em um modelo desenvolvido no *AnyLogic*, aplicando as diferentes estratégias e observando seu desempenho em alguns índices como, custos de compra, custos de aluguel e custos de depreciação.

Também tratando do planejamento da reposição de peça sobressalentes, Miranda *et al.* (2019) buscaram por meio de um modelo de simulação, desenvolvido no *software ARENA*, encontrar a melhor estratégia para a reposição de peças. O sistema foi avaliado a partir de duas perspectivas de manutenção: preventiva e corretiva. Além disso, eles analisaram os modelos em relação aos custos e estoques, de que modo a visualizar como as estratégias impactam na produtividade da empresa.

Dionízio e Herculani (2019), abordam por um modelo de simulação otimizar o tempo total gasto com o processo de suprimento de refrigerantes em uma rede de supermercados. Com o desenvolvimento do modelo os autores conseguiram detectar gargalos na operação e assim propor soluções para os problemas encontrados. O trabalho dos autores utilizou dados reais coletados na empresa, adotando o *software ARENA* para o desenvolvimento do modelo, devido sua facilidade de utilização e seu cenário gráfico.

Para Vieira *et al.* (2019), a indústria 4.0 estabelece muitas inovações que necessitam de vários campos de conhecimento, nesse contexto os autores desenvolveram um modelo de simulação de uma cadeia de suprimentos eletrônicos integrado com os modelos baseados em *Bigdata*. Os autores simularam cenários que consideram paradas de produção utilizando dados disponíveis em *Bigdata*, e a partir da simulação avaliaram o impacto em índices de desempenho, como a utilização da produção e o nível de estoque.

Em outro trabalho de Vieira *et al.* (2020), os autores analisaram o impacto que um modelo de simulação integrado com o *Bigdata* causa em um computador, analisando seu nível de estresse ao lidar com esse volume de dados. Os autores moldaram cenários com diversas configurações. O trabalho dos autores serviu como base para analisar o nível de tecnologia necessária, portanto, o investimento em

equipamentos necessários ao lidar com modelos de simulação com essa quantidade de dados.

Siviero e Dávalos (2020), apresentaram um modelo de simulação de uma cadeia de suprimentos de álcool em gel no período do Coronavírus (COVID-19). A simulação buscou entender como o aumento da demanda influenciou na cadeia de suprimentos de uma farmácia, e a partir de cenários construídos os autores sugeriram melhorias para os processos. Eles apontam a importância da integração, sincronização e compartilhamento das informações entre os elos da cadeia e relatam que quando há comunicação entre os agentes as entregas são mais eficientes.

Neste mesmo contexto da pandemia do Coronavírus (COVID-19), o trabalho de Moosavi e Hosseini (2021), buscou elucidar os impactos das estratégias de resiliência na cadeia de suprimentos, a partir de um modelo de simulação foram moldados dois cenários: com interrupção e sem interrupção da cadeia. Os autores simularam duas estratégias, fornecedor de *backup* e estoque extra, avaliando seu impacto em alguns índices: receita, lucro, custo e atendimento da demanda. O trabalho dos autores mostrou que, no quesito resiliência, a estratégia mais eficiente foi a do estoque extra, porém em comparação com a estratégia de fornecedor de *backup* a mesma apresentou um custo mais elevado.

Quadro 1 - Trabalhos utilizados por cadeia e software.

Tipo de cadeia	Nome do artigo	Ano	Software utilizado
Petróleo	Desenvolvimento de um modelo de simulação para análise da cadeia de suprimentos de petróleo e distribuição de derivados da Petrobras na região de São Paulo	2004	ARENA
Geral	Análise de políticas de gestão em cadeias de suprimentos por modelos de simulação	2004	ASCS
Geral	Desenvolvimento de um sistema de simulação para cadeias de suprimentos	2004	ASCS
Geral	Um modelo de simulação para análise do planejamento colaborado em cadeias de suprimento	2006	ARENA
Dutos ar-condicionado	Cadeias de suprimentos na construção civil: análise e simulação computacional	2007	Stroboscope

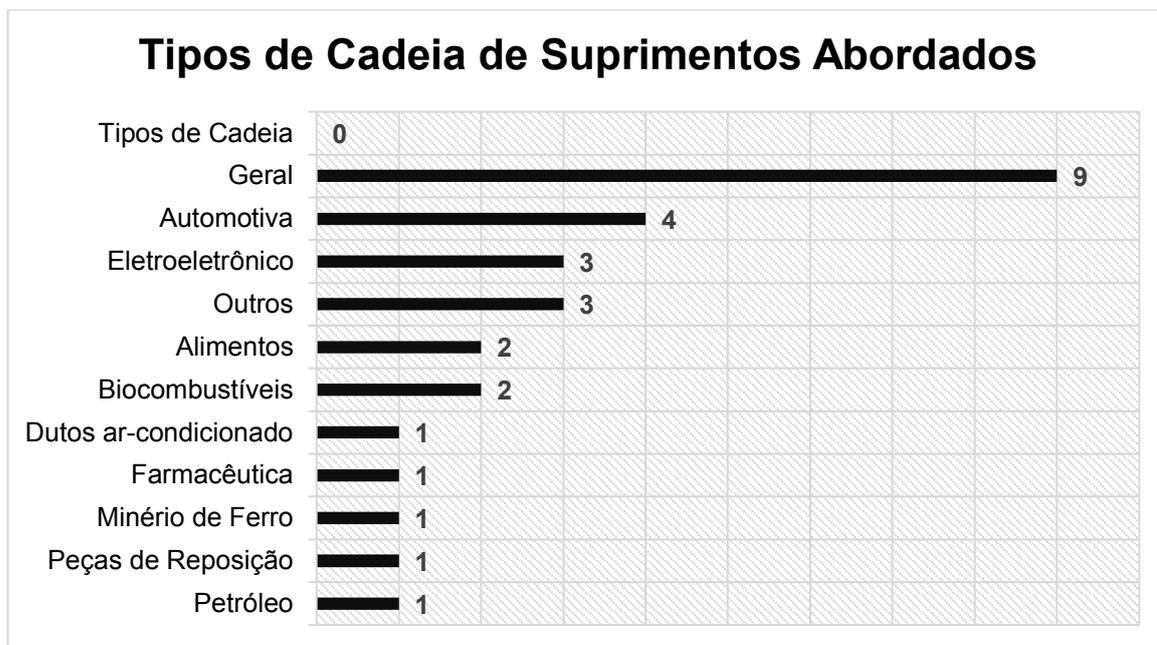
Biocombustíveis	Using of anylogic and extendsim in modelling of biofuel logistic systems	2008	AnyLogic e ExtendSim
Geral	Simulação multiagente de uma economia do insumo-produto e estudo de políticas de seleção de fornecedores	2009	"Repast"
Biodiesel	Um modelo de simulação baseado em agentes para análise das cadeias de suprimento	2009	ARENA
Minério de Ferro	Desenvolvimento de um modelo de simulação para avaliação do desempenho de uma cadeia de suprimentos multicamadas do ramo de mineração através da adoção da estratégia colaborativa VMI (vendedor managed inventory)	2010	ARENA
Automotiva	Just in sequence delivery improvement based on flexsim simulation experiment	2012	FlexSim
Geral	Research on demand-driven leagile supply chain operation model: a simulation based on anylogic in system engineering	2012	AnyLogic
Transporte Aéreo	Análise de alternativas para aumento da produtividade e qualidade operacional de terminais de cargas em aeroportos por meio de simulação computacional	2012	ARENA
Automotiva	Hybrid modeling and simulation of automotive supply chain network	2013	AnyLogic
Automotiva	A discrete-event simulation model for supporting the first-tier supplier decision-making in a uk's automotive industry	2014	ARENA
Peças de Reposição	Simulação de cadeias de suprimentos de peças de reposição	2015	AnyLogic
Alimentos	Simulação híbrida do processo produtivo do palmito de pupunha	2015	AnyLogic
Varejo	Teoria das restrições aplicada à cadeia de suprimentos do varejo: uma análise com uso de modelo de simulação	2016	FlexSim
Eletroeletrônico	Efeito chicote em redes de logística reversa: um modelo de simulação dinâmica	2017	
Geral	Simulação baseada em agentes para uma cadeia de suprimentos com impressão 3d: uma análise comparativa utilizando anylogic	2017	AnyLogic

Alimentos	Simulação do software arena para o abastecimento de refrigerantes em uma rede de supermercados no município de bebedouro (SP)	2019	ARENA
Eletrônicos	Supply chain risk management: an interactive simulation model in a big data context	2019	SIMIO
Peças Sobressalentes	A simulation based modelling approach to jointly support and evaluate spare parts supply chain network and maintenance system	2019	ARENA
Geral	Consignment inventory simulation model for single vendor-multi buyers in a supply chain	2019	FlexSim
Transporte	Optimization of technological transport sets using anylogic simulation environment	2019	AnyLogic
Geral	Seleção de fornecedores por meio de simulação e machine learning com as ferramentas knn e lr	2019	AnyLogic
Geral	Selection of pallet management strategies from the perspective of supply chain cost with anylogic software	2019	AnyLogic
Farmacêutica	Modelagem e simulação de uma cadeia de suprimentos: um estudo de caso da produção de álcool em gel frente à pandemia	2020	ARENA
Automotiva	Are simulation tools ready for big data? Computational experiments with supply chain models developed in simio	2020	SIMIO
Dispositivos Eletrônicos	Simulation-based assessment of supply chain resilience with consideration of recovery strategies in the covid-19 pandemic context	2021	anyLogistix

Fonte: Autoria Própria (2022).

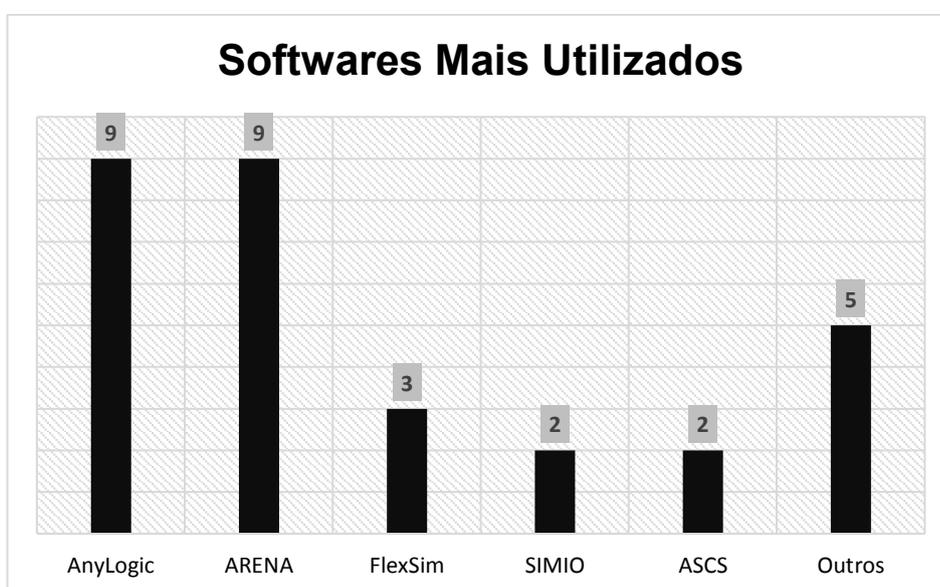
2.4.1 Aplicações e *softwares* abordados em cadeia de suprimentos

O Gráfico 1 elucida as diversas categorias de cadeia abordadas pelos trabalhos que serviram de embasamento para este estudo. Como pode ser percebido, a cadeia automotiva foi a que mais apresentou estudos únicos, isso mostra a força e consolidação deste setor, pioneiro na criação de práticas e ferramentas, aplicadas posteriormente nos outros tipos de cadeia de suprimentos.

Gráfico 1 - Tipos de cadeia de suprimentos dos trabalhos.

Fonte: Autoria Própria (2022).

Das publicações selecionadas e citadas anteriormente, foi averiguado qual o *software* mais utilizado pelos trabalhos analisados. No Gráfico 2 pode-se visualizar que o *AnyLogic* foi o *software* mais escolhido – ao lado do *ARENA*, para analisar problemas de cadeia de suprimentos utilizando a simulação computacional.

Gráfico 2 - Softwares mais utilizados.

Fonte: Autoria Própria (2022).

Para mais destes, outros materiais disponíveis na Internet, assim como livros, acrescentaram no conteúdo desse trabalho.

A partir da realização da revisão de literatura foi possível atestar os benefícios que a simulação computacional possui para lidar com problemas relacionados a gestão da cadeia de suprimentos. Dentre esses benefícios destaca-se a capacidade de modelar um sistema complexo, possibilitando obter-se análises robustas, praticamente isentando a empresa de riscos, uma vez que, não precisará fazer uma mudança real, que caso se mostrasse equivocada, acarretaria em custos consideráveis a organização. A realização de simulações a partir do uso de *softwares* permite abranger um escopo ainda maior de problemas, sendo possível a inserção de mais dados, além de ser possível a obtenção de estatísticas que permitem avaliar o desempenho dos experimentos de maneira quantitativa.

Com a análise dos *softwares* abordados pelos trabalhos revisados, se definiu dois *softwares* como os mais indicados a trabalhar com problemas relacionados a cadeia de suprimentos, sendo: *AnyLogic* e *anyLogistix*. O *software anyLogistix* foi escolhido para lidar com o problema deste trabalho, devido a sua potencialidade de lidar com problemas de localização de facilidades, por ser um *software* específico para trabalhar com cadeia de suprimentos, ele conta com diversas funcionalidades que trazem um aprofundamento no problema deste estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

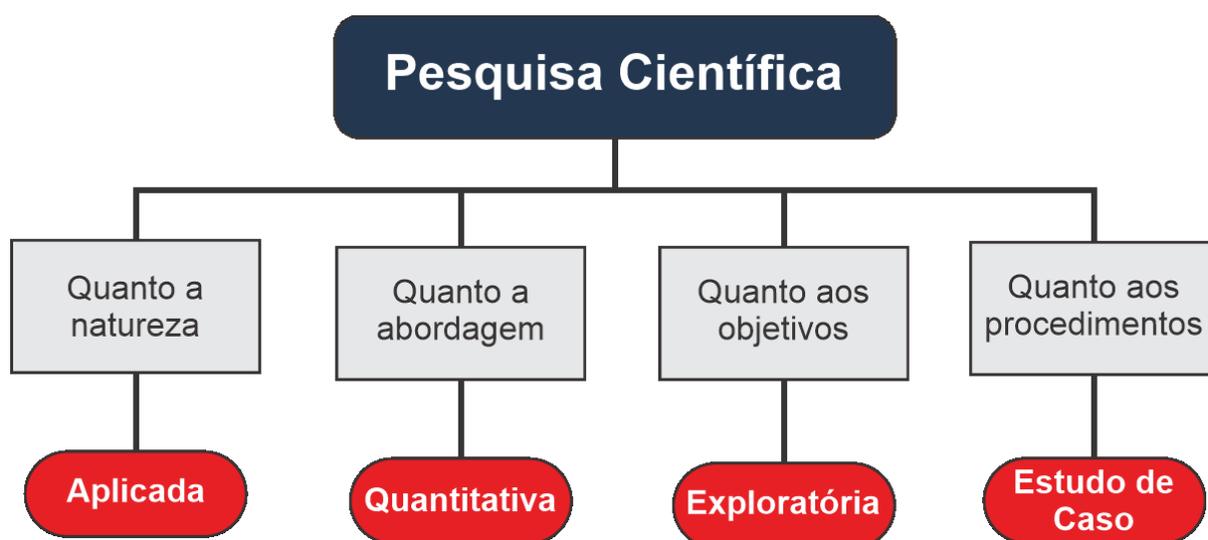
A presente sessão tem como objetivo apresentar o método de pesquisa utilizado para a elaboração do trabalho, a classificação da pesquisa e suas etapas. Para melhor compreensão recorreu-se ao conceito de Gil (2017) sobre pesquisa científica.

A pesquisa científica é conceituada como um processo racional e sistemático cujo propósito é viabilizar a descoberta de respostas para os problemas apresentados. A pesquisa é necessária no momento em que tenha informações insuficientes a disposição ou quando esta informação encontra-se em um estado caótico que não pode ser utilizada de maneira adequada para desvendar o problema (GIL, 2017).

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo pode ser caracterizado em relação a quatro aspectos: natureza, abordagem metodológica, objetivo e o procedimento utilizado. No Fluxograma 1, será apresentado a caracterização da pesquisa.

Fluxograma 1 - Caracterização da pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2022).

Este trabalho é classificado quanto à natureza como aplicada, pois se dedica a gerar conhecimentos para a resolução de um problema específico e aplicando-se a uma situação específica (NASCIMENTO, 2016). A pesquisa é aplicada, pois, em decorrência de conhecimentos adquiridos, foi concebido um modelo de simulação,

que veio a ser aplicado empregando o *software anyLogistix*, servindo de apoio para a tomada de decisão.

Tendo em conta que o presente estudo envolve apenas a utilização de dados quantitativos, no que diz respeito a abordagem, a pesquisa pode ser definida como quantitativa. A pesquisa quantitativa caracteriza-se por empregar ferramentas estatísticas, para coletar e tratar dados, em que o pesquisador parte de um plano com hipóteses e variáveis definidas, procurando medir e qualificar os resultados da investigação (ZANELLA, 2013). Portanto, a pesquisa é quantitativa, visto que, durante seu desenvolvimento, foram utilizados e tratados dados, que eram necessários para o modelo quantitativo utilizado pelo *software* de simulação.

Para Gil (2017) as pesquisas exploratórias visam propiciar uma maior estreiteza com o problema, visando torná-lo mais explícito ou contribuir para a construção de hipóteses. Apoiado neste objetivo, esta pesquisa foi classificada quanto aos objetivos, como exploratória, visto que, procura encontrar soluções para um problema conhecido.

Segundo Pereira *et al.* (2018) um estudo de caso é uma definição e estudo, o mais detalhado possível, de determinado caso que demonstre alguma particularidade que o torne especial. Zanella (2013), segue a mesma linha, afirmando que um estudo de caso é uma investigação exaustiva de um ou alguns objetos de pesquisa, que propicie o aprofundamento de conhecimento. Nesta conjuntura, este trabalho é classificado como estudo de caso, uma vez que visa obter uma análise completa e detalhada sobre um problema.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

O presente estudo contou com sete etapas para o seu desenvolvimento. Para melhor entendimento, o Fluxograma 2, elucida o fluxo metodológico do trabalho, e logo depois está apresentado as especificidades de cada etapa.

Fluxograma 2 - Etapas do estudo.



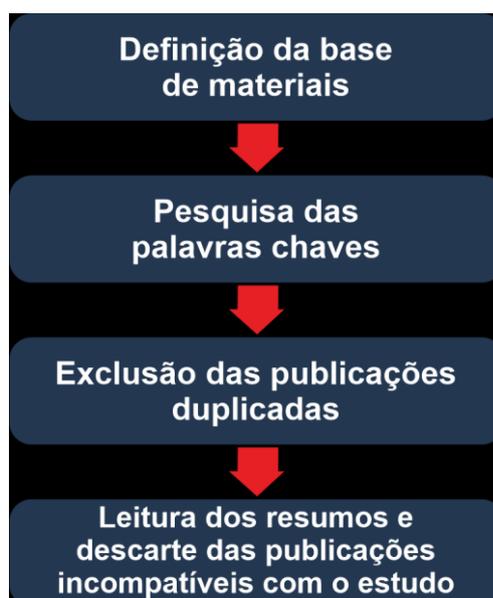
Fonte: Autoria Própria (2022).

Em decorrência da complexidade de cada uma dessas etapas, julgou-se pertinente que cada uma delas fossem descritas e detalhadas nos subtópicos a seguir:

3.2.1 Revisão de literatura

Para a elaboração deste trabalho foi realizado uma revisão de literatura no que tange simulação computacional em cadeia de suprimentos, que serviu de embasamento para o desenvolvimento deste estudo. No Fluxograma 3, podem ser visualizadas as etapas.

Fluxograma 3 - Fluxograma de revisão de literatura.



Fonte: Autoria própria (2022).

Neste estudo a base de pesquisa escolhida foi o *Google Scholar*, aplicando-se um filtro de publicações a partir do ano 2000. Nessa base foram pesquisadas as combinações de palavras-chave: simulação gestão da cadeia de suprimentos; simulação computacional cadeia de suprimentos; simulação cadeia de suprimentos *AnyLogic*; simulação cadeia de suprimentos *arena*; simulação cadeia de suprimentos *FlexSim*; *supply chain simulation*. Como resultado inicial da coleta, foram selecionados 100 estudos ao total, seguindo os critérios estabelecidos.

Posteriormente, após realização de descartes de estudos no qual havia-se feito o *download* de forma repetida e da leitura dos resumos e resultados das publicações, foram selecionados 29 estudos que deram sequência ao trabalho, servindo como base

principal tanto para a revisão da literatura e do estado da arte do tema, como para a aplicação metodológica proposta.

3.2.2 Definição do tema

Depois do levantamento dos trabalhos relacionados, foi verificada as aplicações e *softwares* utilizados em todos os estudos, seguida de uma pesquisa sobre cada um dos *softwares*, analisado os prós e contras, bem como sua aplicabilidade em problemas relacionados a cadeia de suprimentos.

A partir da análise inicial, foram definidos os *softwares AnyLogic* e *anyLogistix*, como os que melhor atendiam aos requisitos do estudo, foram posteriormente realizadas diversas simulações, utilizando exemplos fictícios em diversas áreas, para obter uma visão geral da simulação em cadeia de suprimentos.

Com base na utilização dos programas em diversos problemas e áreas, o *software anyLogistix* foi definido como, o mais habilitado para atuar com simulação em cadeia de suprimentos. Após a verificação da potencialidade do *software* e suas diversas aplicações, o tema de análise deste estudo foi definido.

3.2.3 Coleta de dados

Após definição do tema, estabeleceu-se o contato com a empresa objeto do estudo para obtenção dos dados necessários para a execução das simulações. Os dados foram obtidos por meio de coleta direta com a gerência de logística e armazenagem da organização, sendo fornecidos dados referentes a dois meses de atuação no mercado.

3.2.4 Tratamento dos dados

Uma vez que a empresa disponibilizou uma enorme variedade de dados, tornou-se necessário a realização de uma seleção, para analisar quais realmente seriam cruciais para a execução dos experimentos.

Para a realização da seleção, foi feito um estudo teórico de todas as variáveis que são importantes, para a escolha do melhor local para uma nova instalação, em adição a isso, verificou-se no *software* definido, todos os dados e parâmetros necessários para a execução dos experimentos (GFA, NO e SIM). Após isso, realizou-se o filtro no banco de dados disponibilizado pela empresa, selecionando todas as informações necessárias para a realização dos experimentos.

3.2.5 Definição dos cenários

Com os dados tratados, foram definidos todos os cenários distintos em que as simulações e otimizações seriam realizadas. A partir disso, seis cenários foram selecionados para análise, três desses visando a instalação de um novo centro de distribuição considerando o CD atual da organização e o restante desconsiderando o CD existente, analisando a instalação de dois novos centros.

Além disso, os cenários também estão divididos em relação à demanda por produtos da organização, foram analisados cenários com variações da demanda, sendo a demanda original, com aumento em 100%, bem como a demanda original reduzida em 50%. Nesta etapa, também foram definidas quais seriam as estatísticas/indicadores interessantes a serem analisadas para atestar o desempenho de cada cenário.

3.2.6 Simulação no *software*

Estando em posse dos dados necessários para a realização dos experimentos, como também dos cenários estipulados, foi dada sequência no estudo, partindo para a execução das simulações e otimizações no *software* selecionado. As primeiras simulações realizadas, foram com os cenários que consideravam a existência do CD atual e posteriormente as que visaram a instalação de dois novos centros.

As simulações foram executadas na seguinte ordem: experimento GFA, que busca encontrar o melhor local geográfico, otimização NO, que visou otimizar o local encontrado no GFA, por fim, a simulação SIM, cujo objetivo foi analisar o desempenho de cada cenário em indicadores pré-definidos.

3.2.7 Construção dos resultados

Ao fim da realização das simulações, foram coletados os *outputs* disponibilizados pelo *software*, seja as localizações obtidas em cada cenário, como também os resultados dos indicadores.

Com os produtos gerados pelo *software*, foi possível dar seguimento a interpretação e confecção dos resultados, de maneira textual e ilustrativa.

3.3 CRONOGRAMA DE ELABORAÇÃO

Para melhor compreender as fases de desenvolvimento do trabalho, foi desenvolvido um cronograma descritivo (Quadro 2), no qual estão dispostos na primeira coluna os meses, na segunda a fase de desenvolvimento, na terceira coluna as ações realizadas em cada uma das fases, e por fim, na quarta coluna uma descrição de cada ação que foi executada.

Quadro 2 - Cronograma descritivo do estudo.

Mês	Fase	Ação	Descrição
01	Preparação do projeto	Preparação	Estudar aplicações de simulação em cadeia de suprimentos e elaborar o cronograma do projeto
02			
03	Revisão de literatura	Coleta	Coletar estudos que utilizam simulação na cadeia de suprimentos
04		Análise	Analisar os estudos para selecionar os mais pertinentes
		Seleção	Realizar a seleção dos estudos que mais agregariam para a produção deste trabalho
04	Estudar os <i>softwares AnyLogic e anyLogistix</i>	Introdução	Obter um entendimento geral sobre o funcionamento e potencialidade de ambos os <i>softwares</i>
		Compreensão	Entendimento aprofundado a partir de casos desenvolvidos nos <i>softwares</i>
		Apresentação	Preparar uma apresentação para o orientador exibindo todas as aplicações estudadas
05	Desenvolver exemplos fictícios	Compreensão	Estudar os exemplos de diversas aplicações disponibilizadas pela <i>AnyLogic Company</i>
		Modelar	Modelar os exemplos e executar as simulações
06	Estudo de caso <i>anyLogistix</i>	Compreensão	Compreender o estudo de caso disponibilizado pela <i>AnyLogic Company</i>
		Modelar	Modelar o estudo de caso e executar a simulação

07	Desenvolver a simulação no <i>software</i>	Parâmetros	Inserir os dados e parâmetros necessários para a execução das simulações
08		Modelar	Modelar os cenários no <i>software</i>
09		Testar e simular	Realizar testes, verificar e validar os resultados. Simular algumas situações pré-definidas
		Apresentar	Produzir um vídeo apresentando para o orientador entender o desenvolvimento e os resultados
07	Revisão teórica e escrita do trabalho	Revisão teórica	Buscar na bibliográfica por meio da metodologia descrita nesse trabalho base e referencial teórico.
08			
09		Escrita	Período aplicado ao desenvolvimento de toda a escrita do trabalho, assim como para adequação das normas acadêmicas.
10			
11			
12	Apresentação do estudo	Apresentação	Apresentação final do Trabalho de Conclusão de Curso

Fonte: Autoria Própria (2022).

O objetivo da utilização desses cronogramas foi para auxiliar na gestão de rotina para o desenvolvimento do trabalho, além de facilitar a visualização, de como foram obtidos os resultados do estudo. Estão dispostos nos Quadros 3 e 4, o cronograma de desenvolvimento do estudo de maneira gráfica, detalhando cada ação realizar e sua respectiva data e o seu período de duração.

Quadro 3 - Cronograma gráfico: Parte 1.

	10/2021	11/2021	12/2022	01/2022	02/2022	03/2022
Preparação do projeto						
Revisão de literatura						
Estudar os softwares AnyLogic e anyLogistix						
Desenvolver exemplos fictícios nos softwares						
Estudo de caso anyLogistix						
Desenvolver a simulação no software						
Revisão teórica e escrita do estudo						
Apresentação do trabalho						

Fonte: Autoria Própria (2022).

Quadro 4 - Cronograma gráfico: Parte 2.

	04/2022	05/2022	06/2022	07/2022	08/2022	09/2022	10/2022
Preparação do projeto							
Revisão de literatura							
Estudar os softwares AnyLogic e anyLogistix							
Desenvolver exemplos fictícios nos softwares							
Estudo de caso anyLogistix							
Desenvolver a simulação no software							
Revisão teórica e escrita do trabalho							
Apresentação do estudo							

Fonte: Autoria Própria (2022).

4 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

4.1 LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA

Um das dificuldades usuais e de maior significância para os gestores da cadeia de suprimentos é a decisão da localização das instalações, podendo ser de fábricas, centros de distribuição ou terminais de cargas. A escolha estratégica das instalações por toda extensão da cadeia, consiste em uma tomada de decisão que molda a estrutura de todo o esquema logístico. Esse tipo de decisão, é indubitavelmente importante para qualquer empresa, em que, frequentemente, é responsável por garantir sua competitividade e sobrevivência no mercado.

A seleção do local adequado para um centro de distribuição, principalmente no Brasil, se mostra como um dos desafios essenciais na instalação de novas facilidades em virtude das altas distâncias, condições tributárias, mão de obra e peculiaridades de cada estado.

Esse tipo de decisão é influenciada diretamente pela estratégia da empresa, que decorre da atividade desempenhada pela companhia. Ao passo que, organizações industriais, detêm uma estratégia voltada à minimização de custos, empresas de varejo e as prestadoras de serviços se preocupam com o nível de serviço assim como o atendimento ao cliente, estes prezam pela rapidez na entrega e baixos preços de venda. O que é visado com a escolha da localização ideal é a maximização das vantagens, tanto os quantitativos como os não quantificáveis para o negócio.

A área de estudo para escolha de localizações estratégicas de centros de distribuição alcança toda a logística de uma organização e está, sobretudo, associada com o transporte de produtos para os clientes.

O presente estudo buscou lidar com o problema de localização estratégica para a escolha de um centro de distribuição. De maneira geral, a escolha das localizações trata de problemas de minimização de custos, estando sujeita a restrições geográficas, de capacidade e investimento, buscando atender a demanda dos seus clientes de modo a garantir um grau satisfatório do nível de serviço.

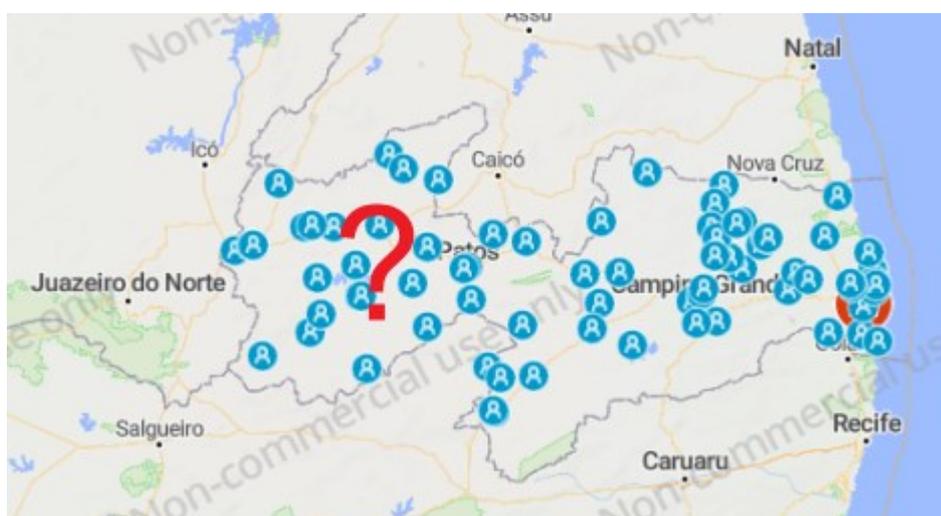
Para Peinado e Graeml (2004), localizar uma instalação traduz a escolha do melhor local possível para ser instalada uma base de operações, na qual serão produzidos produtos ou prestado serviços, além de ser um local fundamental onde será feita grande parte da administração do empreendimento. Neste tipo de problema

nada pode ser negligenciado, diversos detalhes aparentemente irrelevantes, podem acarretar desvantagens. Trata-se de um problema difícil, pois cada negócio possui características distintas, tornando a escolha da localização específica para cada situação, sendo para alguns negócios o mais importante estar perto de seus clientes, enquanto outras buscando estar perto de sua matéria-prima e de mão de obra qualificada (MOREIRA, 2013).

A questão da escolha da localização de centros está inserida no campo de estudo da localização de instalações, constituindo-se assim, um problema de logística direta. Esse fluxo logístico tem como princípio a saída dos produtos a partir do CD para serem entregues aos clientes, em meio a uma extensão territorial e com diversas alternativas de rotas.

A localização de um centro de distribuição é crucial para o sucesso da organização, possibilitando a empresa atender os clientes de maneira mais eficiente, visto que, estando bem localizado, o atendimento a demanda fica muito mais ágil. Além disso, possibilitando a empresa economizar com frete, manutenções de veículos e mão de obra. No Mapa 1, pode-se observar os clientes da empresa (ícones azuis) distribuídos no mapa do estado da Paraíba.

Mapa 1 -



Fonte: Autoria própria (2022).

Este trabalho buscou lidar com o problema de localização de facilidades utilizando um procedimento de simulação, apresentando sua aplicação numa empresa que atua no setor alimentício. Esta, tem atualmente um centro de distribuição na

cidade do Conde, no estado da Paraíba, e busca analisar a viabilidade de ampliar suas operações, com a instalação de um novo centro de distribuição, focando na minimização de custos.

4.2 DESENVOLVIMENTO

4.2.1 Caracterização da empresa

A empresa objeto do presente estudo atua na produção e distribuição de produtos alimentícios na região Nordeste do Brasil. A maioria dos produtos são derivados de leite, implicando em um período de validade relativamente reduzido, sendo necessária a adoção de diversos cuidados no planejamento logístico para evitar o comprometimento de sua qualidade.

Apesar de atuar em diversos estados e cidades, a maior parte de seu faturamento está ligada a clientes nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Por questões de necessidade de sigilo organizacional, a empresa solicitou que fosse respeitado o sigilo de seu nome no presente estudo.

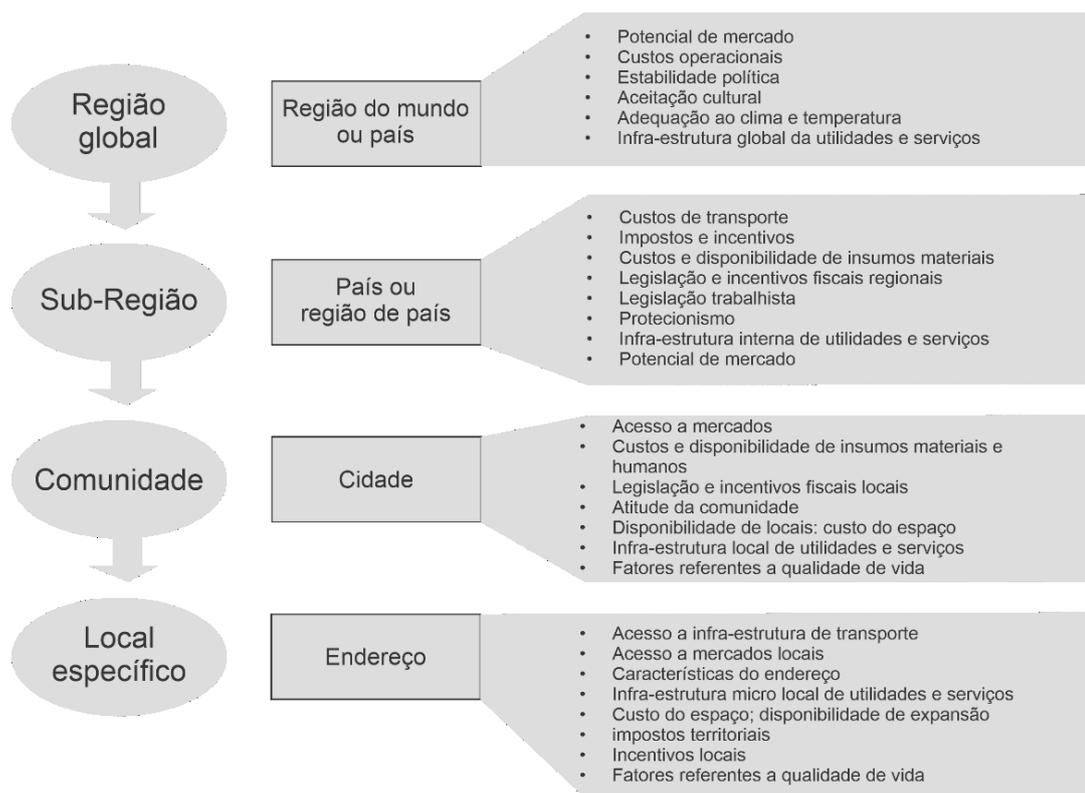
4.2.2 Parâmetros dos experimentos

Conforme exposto por Moreira (2013), há fatores inerentes que precisam ser considerados na escolha de um local para uma unidade industrial ou de uma prestadora de serviços, existindo diferenças e semelhanças em ambos os casos. Contudo, seja qual for o tipo de negócio e o método de escolha utilizado, a lógica fundamental de resolução é a mesma: minimizar custos, tempos de entrega, distâncias e tempos ou quaisquer outros fatores que remetem a eficiência das operações.

A escolha da localização deve considerar a demanda atual e sua evolução futura, tratando de selecionar uma ou mais localidades dentre várias possibilidades, que vão ofertar produtos para atender determinada demanda, sempre visando uma localidade que maximize o resultado, cumprido determinadas restrições oriundas do cenário (NOVAES, 2007).

Para Corrêa e Corrêa (2009) são diversos fatores que podem impactar na definição de um local, mas será o tipo de organização que irá definir quais são os fatores determinantes. Os vários fatores e sua hierarquia decisória podem ser visualizados na Figura 3.

Figura 3 - Hierarquia das decisões de localização.



Fonte: Adaptado de Corrêa e Corrêa (2009).

Para Tanigushi *et al.* (2001) os fatores básicos a serem considerados para problemas de localização de instalações são:

- I. Número de instalações a serem escolhidas;
- II. Tamanho de cada instalação;
- III. Número de instalações existentes;
- IV. Objetivo da empresa;
- V. Demanda atual e futura;
- VI. Localizações candidatas;
- VII. Comportamento dos clientes;
- VIII. Limitação de capacidade das instalações.

No cenário de produção deste trabalho, a empresa já possui um centro de distribuição e pretende analisar a viabilidade de instalar um CD em adição ao atual. Nesta conjuntura, a experiência adquirida pela organização, em função dos seus anos de funcionamento, se faz de muita utilidade para a definição dos fatores cruciais para a escolha do local para a nova instalação (PEINALDO; GRAMEL, 2004).

Assim, após análise dos fatores necessários para a realização da simulação no *software* com a experiência da empresa com suas instalações atuais, foram definidos os parâmetros a serem considerados em cada etapa do experimento, considerando suas peculiaridades e as classes de resultados a serem obtidos.

O experimento realizado procura determinar o melhor local para a instalação de um novo CD, que distribui produtos para clientes de uma determinada região, em locais previamente conhecidos, tomando como base as distâncias a serem percorridas, custos, a demanda dos clientes e sua posição.

Nessa circunstância a simulação visou obter resultados que auxiliassem na decisão de escolha da melhor localização para possíveis novos centros de distribuição da empresa. Para realização dos experimentos, o *software* utilizado foi o *anyLogistix*. O programa *anyLogistix* permite definir o tempo que a simulação será executada, assim, neste trabalho, todos os cenários foram realizados com a duração de um ano (365 dias). A análise de cada cenário foi dividida em três etapas, cada uma com um objetivo distinto.

4.2.2.1 *Etapa 1 - Greenfield analysis experiment (GFA)*

A *Greenfield Analysis* é usada para encontrar o número ideal de centros de distribuição, bem como para definir as localizações aproximadas para os locais da cadeia de suprimentos, considerando os seguintes dados:

- I. *Localização dos clientes*: o posicionamento dos clientes é importante nesse tipo de experimento, pois influencia diretamente nas rotas de distribuição, no tempo de entrega e no nível de serviço, portanto, um fator necessário para a escolha do local;
- II. *Lista de produtos*: a lista de produtos é outro fator necessário para rodar o experimento, cada produto possui demandas diferentes e clientes únicos em que os mesmos devem ser entregues, assim a lista de produtos se torna influente para a decisão do melhor ponto para sediar o novo CD;
- III. *Demanda agregada de cada cliente*: este é o fator mais importante para a realização do experimento GFA, sendo o mais impactante para a escolha do local. Com esse parâmetro é possível perceber os clientes que mais compram e geram receita para a empresa, tornando crucial garantir um bom nível de serviço para esses clientes estratégicos;

IV. Distância direta entre clientes e CDs ou número de locais que precisam ser encontrados: esse parâmetro define se a simulação será rodada para encontrar o número ideal de CDs, com base em uma distância direta pré-definida da instalação até os clientes, ou tendo definido o número de CDs, buscar encontrar suas melhores localizações, sendo este segundo caso o cenário deste trabalho.

Uma vez definido o número de CDs a serem obtidos, o experimento será rodado encontrando os pontos ótimos para suas respectivas localizações. A ressalva a ser feita no experimento GFA é que ele não considera as particularidades de cada região, as estradas disponíveis, sua infraestrutura de transporte e a disponibilidade de mão de obra qualificada. Com isso, pode ser sugerido CDs em localizações inadequadas, como em topos de montanhas ou no mar, por exemplo.

4.2.2.2 *Etapa 2 - Network Optimization (NO)*

O experimento NO é bastante abrangente, conseguindo lidar com uma ampla gama de problemas relacionados à cadeia de suprimentos. Encontrar pontos ótimos para centros de distribuição ou instalações produtivas, melhorar fluxos de produtos, opções de fornecimento, são algumas das possibilidades deste tipo de simulação. Nesta simulação a quantidade de parâmetros que podem ser utilizados é considerável, caso uma organização queira investir na coleta de dados apurados, trará mais robustez para esse tipo de experimento.

Network Optimization é um método analítico de otimização da cadeia de suprimentos. Neste trabalho será utilizado para encontrar as localizações exatas dos CDs a partir dos dados obtidos pelo experimento GFA. Se tratando de localizações ótimas pode-se dizer em relação a: estradas disponíveis atualmente, custos reais de transporte, custos operacionais e infraestrutura.

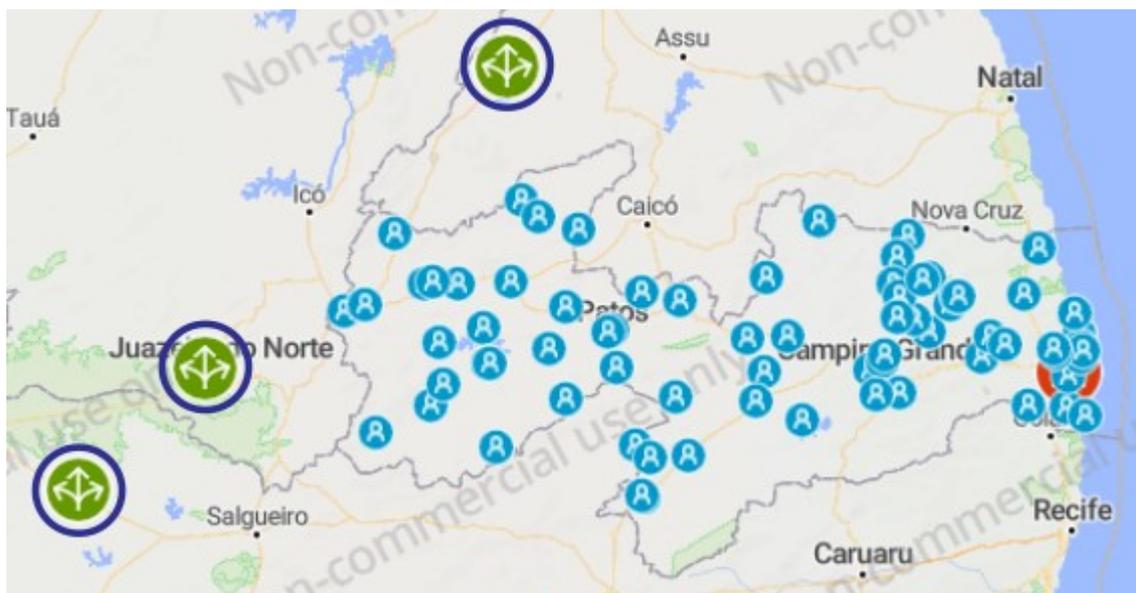
O cenário GFA será convertido para NO, no qual serão adicionados novos parâmetros tornando possível encontrar a localização ótima. Os dados utilizados para esse experimento são:

- I. Cidades alternativas aos locais encontrados no GFA: muitas das vezes os locais encontrados no GFA podem ser inviáveis para uma instalação de CD, visto que, não considera estradas disponíveis e infraestrutura da região. Assim, se fez necessário selecionar cidades candidatas próximas do local encontrado no GFA, que tenham capacidade e viabilidade de abrigar o novo centro de distribuição da empresa. As cidades para serem escolhidas estão em um raio

de até 250 km do ponto inicial e possuíam os requisitos necessários para abrigar a instalação. Estradas disponíveis, infraestrutura de transporte, mão de obra disponível e potencial de mercado foram os critérios utilizados para seleção das cidades candidatas.

- II. Preço de venda e custo de cada produto: para que fosse possível realizar a otimização visando minimização de custos se fez necessário utilizar os custos de cada produto, além disso, para analisar cada cenário e sua respectiva lucratividade, o preço de venda de cada item é crucial.
- III. Custo de transporte: os custos de transporte são fundamentais quando se trata da instalação de um centro de distribuição, ainda mais quando o problema é de minimização de custos, sendo assim foram utilizados os custos de entrega com base na distância percorrida.
- IV. Custos de abertura do novo CD: outro fator determinante para a escolha da localização ótima é o custo de abertura do centro de distribuição em cada cidade candidata. Sabe-se que, em cidades metropolitanas o custo inicial é muito mais elevado com relação às demais cidades e isso influencia diretamente na escolha da localização.
- V. Tamanho da frota de veículos: o número de veículos da frota da empresa impacta na definição das rotas de entrega, pois o transporte empregado irá gerar uma variedade de rotas para cada local candidato possibilitando diferentes alternativas de custos.
- VI. Capacidade de cada veículo: a capacidade de cada veículo é fundamental se tratando de minimização de custos, pois influencia diretamente no número de viagens que serão realizadas para satisfazer a demanda. A depender da capacidade dos veículos, determinada cidade candidata pode ter vantagem em relação às concorrentes, influenciando na escolha do local ótimo.
- VII. Localização dos fornecedores: o posicionamento dos fornecedores impacta diretamente nos custos de obtenção dos produtos assim como na velocidade em que os insumos serão entregues. No caso específico da empresa do estudo, esse parâmetro tem ainda mais impacto, haja vista que todos os seus fornecedores estão localizados em outro estado (Mapa 2) e que cada um, entrega insumos únicos e diferentes uns dos outros.

Mapa 2 - Posicionamento dos Fornecedores.



Fonte: Autoria Própria (2022).

- VIII. Restrição para o número de cidades alternativas: para que o experimento seja executado se fez necessário definir o número de cidades alternativas para cada localização encontrada no GFA, assim como é indispensável definir o número de alternativas a serem obtidas, de maneira a encontrar a melhor otimização possível.
- IX. Custos de processamento em cada possível CD: este parâmetro irá considerar todos os custos envolvidos para o funcionamento do CD. Valor do aluguel, custos com mão de obra, com energia e água são alguns dos fatores que compõem o custo de processamento. Esse parâmetro é um dos mais influentes para a escolha do melhor lugar para o CD ser instalado, pois, cada cidade possui custos de processamento diferentes, e no longo prazo isso pode impactar diretamente nos custos e conseqüentemente na escolha da localização.

O experimento NO visa encontrar a melhor localização considerando a maximização dos lucros obedecendo todas as restrições definidas. Então, após a execução do NO considerando todos os fatores envolvidos, as melhores localizações foram obtidas e posteriormente seguiram para o experimento SIM.

4.2.2.3 Etapa 3 - Simulation (SIM)

O experimento de simulação (SIM) é utilizado para simular a entrega dos produtos oferecidos pela empresa no mapa do *software* com estatísticas escolhidas e

geradas em tempo real. Também é oportuno para cenários hipotéticos, possibilitando visualizar como alterações feitas impactam nos resultados. Esse tipo de experimento trabalha com o mesmo grupo de dados usados nos experimentos GFA e NO, e caso seja necessário dados adicionais podem ser adicionados para esse tipo de simulação.

O experimento SIM ao contrário do GFA e NO não é um método analítico de otimização da cadeia de suprimentos. Esse tipo de simulação é utilizado para configurar políticas de estoque, encontrar volume de estoque ótimo por produto, eliminar perda de pedidos, e executar “e se” cenários de modo a visualizar como as mudanças feitas vão impactar nos resultados.

No caso deste trabalho o experimento de simulação foi utilizado apenas para visualizar como os resultados obtidos no NO se comportam em relação a alguns indicadores:

- I. Lucro;
- II. Custos totais;
- III. Custos de transporte;
- IV. Estoque disponível para cada produto;
- V. *Lead time* de cada produto.

A partir dos resultados obtidos no SIM foi possível realizar uma análise robusta de cada cenário, o que serviu de embasamento para a tomada de decisão e escolha da melhor localização para a instalação de novos centros de distribuição.

4.2.3 Dados utilizados no experimento

Nesta seção estão dispostos os dados utilizados na execução das simulações e otimizações. No Quadro 5, pode ser visualizado, na coluna 1, os produtos fabricados pela organização, na coluna 2 o preço de venda por produto, na coluna 3, o custo unitário das mercadorias e, por fim, na coluna 4, o volume de produtos por tipo, ou seja, quantas unidades de cada produto ocupam 1 m³.

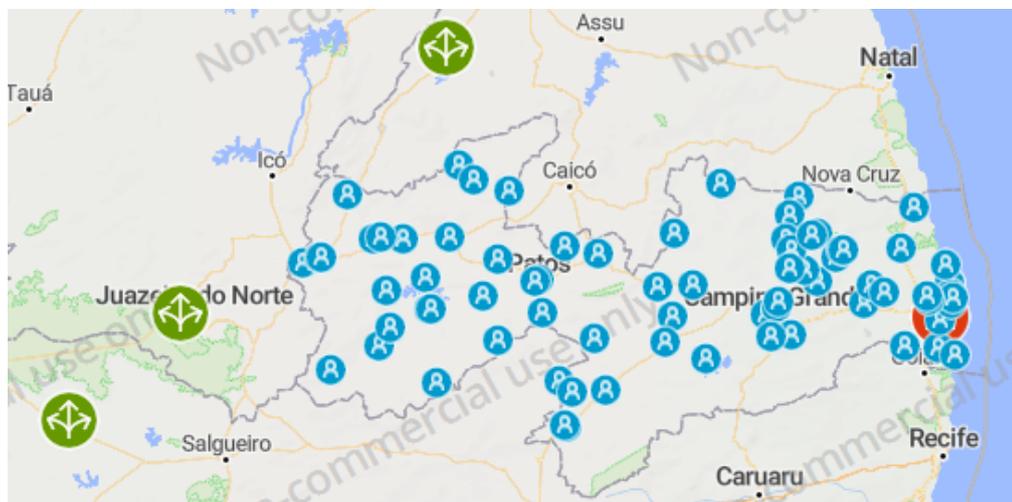
Quadro 5 - Detalhamento dos produtos

Produto	Preço de Venda (R\$)	Custo (R\$)	Conversão (un/m ³)
A	5	2,7	700
B	29	17,2	850
C	24	14,8	700
D	15,6	8,5	850

Fonte: Autoria Própria (2022)

Foram inseridos no *software* as coordenadas dos clientes e fornecedores da organização, sendo possível visualizar no Mapa 3, a posição dos clientes (ícones azuis), assim como a localização dos fornecedores da empresa (ícones verdes).

Mapa 3 - Localização de clientes e fornecedores



Fonte: Autoria Própria (2022)

No Quadro 6, estão apresentados os produtos que são entregues por cada fornecedor, estando na primeira coluna os fornecedores e, na segunda, os produtos oferecidos por cada um deles.

Quadro 6 - Fornecedor por tipo de produto

Fornecedor	Produtos
1	A e C
2	B
3	A e D

Fonte: Autoria Própria (2022)

No Quadro 7, pode ser visualizada a demanda de cada produto por cliente, na coluna 1 estão os clientes da organização, na coluna 2 os produtos adquiridos por cliente e na coluna 3 os parâmetros da demanda de cada cliente, sendo divididos no intervalo para realização de pedido, a respectiva quantidade e a primeira ocorrência na simulação.

Quadro 7 - Demanda por cliente e produto

Cliente	Produto	Parâmetros da Demanda		
		Intervalo de Pedido	Quantidade	Primeira ocorrência
01	B	10	164	Primeiro dia
02	B	10	359	Primeiro dia
03	B	10	802	Primeiro dia
04	B	10	138	Primeiro dia
05	B	10	123	Primeiro dia
06	B	10	277	Primeiro dia
07	B	10	344	Primeiro dia
08	B	10	97	Primeiro dia
09	B	10	231	Primeiro dia
10	A	10	187	Primeiro dia
10	B	10	131	Primeiro dia
11	Todos os produtos	10	176	Primeiro dia
12	Todos os produtos	10	61	Primeiro dia
13	Todos os produtos	10	255	Primeiro dia
14	Todos os produtos	10	153	Primeiro dia
15	Todos os produtos	10	267	Primeiro dia
16	Todos os produtos	10	210	Primeiro dia
17	Todos os produtos	10	2278	Primeiro dia
18	Todos os produtos	10	61	Primeiro dia
19	Todos os produtos	10	324	Primeiro dia
20	A	10	34	Primeiro dia
21	Todos os produtos	10	313	Primeiro dia
22	Todos os produtos	10	355	Primeiro dia
23	Todos os produtos	10	55	Primeiro dia
24	Todos os produtos	10	852	Primeiro dia
25	Todos os produtos	10	123	Primeiro dia
26	Todos os produtos	10	1221	Primeiro dia
27	Todos os produtos	10	2278	Primeiro dia
28	Todos os produtos	10	59	Primeiro dia
29	Todos os produtos	10	1221	Primeiro dia
30	A	10	387	Primeiro dia
31	B	10	77	Primeiro dia
31	C	10	264	Primeiro dia
32	B	10	113	Primeiro dia
32	C	10	244	Primeiro dia

33	B	10	251	Primeiro dia
33	C	10	132	Primeiro dia
34	B	10	65	Primeiro dia
34	C	10	54	Primeiro dia
35	B	10	274	Primeiro dia
35	C	10	115	Primeiro dia
36	B	10	47	Primeiro dia
36	C	10	139	Primeiro dia
37	B	10	54	Primeiro dia
38	B	10	135	Primeiro dia
39	B	10	56	Primeiro dia
40	A	10	150	Primeiro dia
40	B	10	175	Primeiro dia
41	Todos os produtos	10	191	Primeiro dia
42	Todos os produtos	10	63	Primeiro dia
43	Todos os produtos	10	55	Primeiro dia
44	Todos os produtos	10	96	Primeiro dia
45	Todos os produtos	10	267	Primeiro dia
46	Todos os produtos	10	125	Primeiro dia
47	Todos os produtos	10	57	Primeiro dia
48	Todos os produtos	10	297	Primeiro dia
49	Todos os produtos	10	824	Primeiro dia
50	A	10	237	Primeiro dia
51	B	10	57	Primeiro dia
52	B	10	531	Primeiro dia
53	B	10	52	Primeiro dia
54	B	10	1546	Primeiro dia
55	B	10	373	Primeiro dia
56	B	10	282	Primeiro dia
57	B	10	170	Primeiro dia
58	B	10	176	Primeiro dia
59	B	10	343	Primeiro dia
60	A	10	139	Primeiro dia
60	B	10	75	Primeiro dia
61	Todos os produtos	10	162	Primeiro dia
62	Todos os produtos	10	225	Primeiro dia
63	Todos os produtos	10	2978	Primeiro dia
64	Todos os produtos	10	724	Primeiro dia
65	Todos os produtos	10	119	Primeiro dia

66	Todos os produtos	10	255	Primeiro dia
67	Todos os produtos	10	191	Primeiro dia
68	Todos os produtos	10	3221	Primeiro dia
69	Todos os produtos	10	59	Primeiro dia
70	A	10	257	Primeiro dia
71	C	10	109	Primeiro dia
72	C	10	90	Primeiro dia
73	C	10	42	Primeiro dia
74	C	10	919	Primeiro dia
75	C	10	249	Primeiro dia
76	C	10	88	Primeiro dia
77	C	10	109	Primeiro dia
78	C	10	191	Primeiro dia
79	C	10	140	Primeiro dia
80	A	10	697	Primeiro dia
80	C	10	872	Primeiro dia

Fonte: Autoria Própria (2022)

Para o custo de entrega foi considerado uma média em todo o estado da Paraíba, que pode ser visualizada no Quadro 8, o custo por quilômetro percorrido.

Quadro 8 - Custo de transporte

Custo (R\$)	Distância (Km)
1,2	1

Fonte: Autoria Própria (2022)

No Quadro 9 podem ser visualizados os veículos utilizados pela organização para a realização das entregas, bem como sua capacidade. Na primeira coluna estão os veículos, na segunda a respectiva capacidade de cada veículo e, na terceira coluna a velocidade média de entrega de cada veículo.

Quadro 9 - Frota e capacidade

Veículo	Capacidade m ³	Velocidade Média (Km/h)
Truck 1	12	55
Truck 2	12	55

Fonte: Autoria Própria (2022)

No Quadro 10 podem ser visualizados os custos aproximados para abertura de um novo centro de distribuição por região, na primeira coluna estão os lugares, na segunda coluna o tipo de custo e, por fim, na terceira coluna o valor monetário necessário para a construção de um novo CD.

Quadro 10 - Custo de abertura de CD por local

Local	Tipo de gasto	Valor (R\$)
João Pessoa	Infraestrutura	150.000
Campina Grande	Infraestrutura	120.000
Agreste	Infraestrutura	70.000
Cariri	Infraestrutura	70.000
Sertão	Infraestrutura	50.000

Fonte: Autoria Própria (2022)

No Quadro 11, estão dispostos os custos de processamento para um centro de distribuição por localidade, estão inclusos nestes custos, tudo que é necessário para garantir o funcionamento do CD, como custo de aluguel, custo de mão-de-obra, custos de água e luz e etc. Na coluna 1, pode ser visualizado o local e, na coluna 2 o valor monetário necessário por local para operar o CD.

Quadro 11 - Custo de processamento por CD

Local	Valor (R\$)
João Pessoa	15.000
Campina Grande	13.500
Agreste	8.000
Cariri	7.000
Sertão	6.000

Fonte: Autoria Própria (2022)

5 RESULTADOS

Com os avanços tecnológicos oriundos da Indústria 4.0, a capacidade de coletar dados das organizações cresceu exponencialmente, permitindo aos gestores convertê-los em informações importantes, que auxiliem na tomada de decisão. Atrelado a esses avanços, surge também a necessidade de obtenção de análises cada vez mais rápidas, e para isso ferramentas e *softwares* tem-se revelado bastante oportunos no auxílio desse tipo de problema.

Nesse contexto, *softwares* de simulação se mostraram bastante pertinentes para a agilidade na tomada de decisões, e melhor, possibilitando para as empresas uma grande redução de custos, haja vista que muitas vezes as empresas precisavam realizar mudanças reais em suas operações, para testar possíveis soluções, que falhavam muitas vezes. Além disso, por conta do alto risco e necessidade de grande investimento, as organizações deixavam de realizar mudanças, pois não sentiam confiança para implementá-las, dado que não tinham em posse o resultado de uma análise confiável, que podem ser fornecidas por meio da simulação computacional.

Dentre os *softwares* de simulação, um que se destacou foi o *anyLogistix*, utilizado por grandes empresas como Coca-Cola e Tessel Group para otimizar e melhorar sua cadeia de suprimentos. Ele é um programa específico para lidar com problemas relacionados a *supply chain*, conseguindo combinar simulação dinâmica e otimização analítica, provendo suporte para decisões complexas. O *anyLogistix* pode proporcionar avanços para toda a cadeia, tornando-a ágil, *lean* e robusta. Com a modelagem da cadeia de suprimentos, o *software* oferece insights, responde cenários “e se” e torna possível desenvolver um planejamento confiável da cadeia.

Devido à capacidade do *software* para resolver problemas relacionados a cadeia de suprimentos, ele foi selecionado para lidar com o problema deste trabalho. Otimização da cadeia, planejamento de transporte, otimização de estoque, planejamento de capacidade de produção, quantificação do efeito chicote, são algumas das aplicações disponíveis no programa. Nesse estudo, foram utilizadas a otimização da cadeia de suprimentos e a simulação de cenários para análise de indicadores.

5.1 ESTUDO DOS CENÁRIOS

Para avaliar o funcionamento do *software*, e obter resultados simulados das localizações ótimas para novas instalações, foram testados cenários com diferentes locais, bem como demandas. Cada cenário possui variáveis com valores pré-estabelecidos. Alterando-se as localizações candidatas como também a demanda dos clientes, obtiveram-se diferentes localizações finais. Estas simulações foram realizadas com o período de um ano. Para auxiliar no entendimento dos resultados estão dispostas na Figura 7 os significados dos ícones utilizados no *software*.

Figura 3 - Legenda do *software*.

Ícone	Nome
	Cliente
	Centro de Distribuição
	Fornecedor

Fonte: Autoria Própria (2022).

Todos os valores utilizados para a realização do experimento são dados reais, sendo possível obter resultados palpáveis para auxiliar na tomada de decisão. Contudo, devido à complexidade do problema e a limitação da versão gratuita do *software* utilizada, alguns clientes tiveram os valores de sua demanda agregados.

5.1.1 Cenário 1 (cenário base) – Instalação de um novo CD considerando a existência do atual

O primeiro cenário visou obter uma localização ótima de um novo centro de distribuição considerando o centro atual da empresa localizado na cidade de Conde-PB. A partir dos dados fornecidos é esperado a obtenção da localização do novo centro de distribuição capaz de atender toda a demanda da empresa, assim como se espera um bom rendimento da cadeia de suprimentos por não estar considerando gargalos para a produção dos produtos e nem problemas relacionados a estoque.

5.1.1.1 Definição da localização

O primeiro experimento realizado no estudo foi o *Greenfield Analysis* (GFA), no qual foram fornecidos: a lista de produtos ofertados pela empresa, a localização dos clientes e sua respectiva demanda. Esse tipo de simulação é utilizada para encontrar a localização ótima para as instalações da empresa, ou até mesmo o número ótimo de localidades. Este experimento visa encontrar o melhor ponto geográfico para o novo CD da empresa.

Mapa 4 - Cenário 1: Localização do novo CD



Fonte: Autoria Própria (2022)

Após a execução da simulação o resultado obtido considerando os produtos vendidos pela empresa, a posição dos clientes e sua demanda, para a instalação do novo centro de distribuição foi obtida (Figura 8), estando situada na região do sertão paraibano, próximo da cidade de Santa Teresinha – PB, tendo -7,055 de latitude e -37,414 de longitude.

5.1.1.2 Otimização da localização

Este experimento tem como propósito otimizar o local obtido na simulação GFA, considerando dados que não estão no escopo do GFA. Preço de venda e custo dos produtos, custos de transporte, custos de instalação e funcionamento, localização dos fornecedores, tamanho da frota e capacidade de veículos, foram novos dados adicionados no experimento NO.

A simulação GFA é utilizada para encontrar o melhor ponto geográfico para a nova instalação, contudo ele não considera custos ou fatores de infraestrutura. Nesta conjuntura, se fez necessário a realização de um novo experimento, que considerasse, as condições geográficas e de infraestrutura da região. Foram mapeadas cidades candidatas em um raio de até 200 Km, dado que a localização obtida no GFA por vezes pode se encontrar em um lugar remoto e de difícil acesso, onde é inviável a instalação de um centro de distribuição.

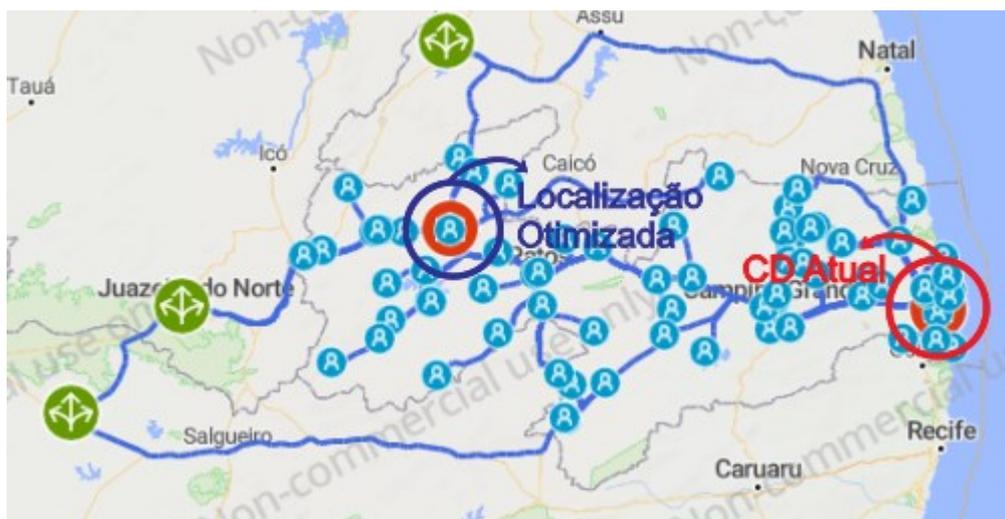
Desse modo buscando viabilizar a construção do novo centro em um local propício, foram investigadas cidades em um raio de até 200 Km, assim as cidades oportunas alcançadas foram Pombal – PB e Patos – PB. Estimou-se esse raio baseado nas dimensões territoriais da região, considerando-se uma distância razoável levando em conta o tamanho do estado.

Mapa 5 - Cenário 1: Cidades alternativas.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Uma vez executado o experimento, a localização que obteve melhor desempenho em relação à minimização dos custos foi a cidade de Pombal – PB (Mapa 6), sendo capaz de atender toda a demanda com custos menores do que a cidade de Patos – PB.

Mapa 6 - Cenário 1: Localização otimizada.

Fonte: Autoria Própria (2022).

5.1.1.3 Simulação final

O objetivo desta simulação foi visualizar o desempenho da cadeia de suprimentos do Cenário 1, em relação a indicadores financeiros, de estoque e de tempo. Assim, a partir deste experimento é possível demonstrar um panorama completo da alternativa. Para isso foi executado um experimento SIM, este, que é capaz de executar determinado cenário em um intervalo de tempo, de forma que seja possível observar algumas variáveis previamente definidas da cadeia, além de servir para simulações “e se”, em que é possível alterar determinados parâmetros e analisar suas consequências na *supply chain*.

Com o novo CD localizado na cidade de Pombal – PB, pode-se visualizar no Quadro 12, os resultados da simulação em relação às finanças, estando representados na primeira coluna, os indicadores financeiros e na segunda, os seus respectivos valores.

Quadro 12 - Cenário 1: Indicadores financeiros.

Indicador	Valor (R\$)
Custo total	40.520.016,68
Lucro	26.284.541,52
Custo de transporte	984.588,58

Fonte: Autoria Própria (2022).

Pode-se observar que, O cenário 1 apresentou um lucro líquido de R\$ 26.284.541,52, enquanto exibiu um custo total de R\$40.520.016,68. Este lucro pode ser explicado, em partes, pelos custos relativamente baixos de transporte, oriundo da instalação do novo CD, que ficou mais próximo de uma grande parcela de clientes, tornando a entrega mais rápida e flexível.

De modo a obter uma noção da capacidade necessária para a operação do novo CD, que, por consequência, serve de subsídio para prever possíveis custos de instalação e construção, considerou-se interessante avaliar indicadores de estocagem. Assim, com o intuito de visualizar a performance do Cenário 1 em relação ao estoque de produtos, executou-se a simulação com o período de um ano e os resultados deste indicador podem ser observados no Quadro 13. Na primeira coluna estão indicados o tipo de produto e, na segunda coluna, estão suas respectivas quantidades.

Quadro 13 - Cenário 1: Estoque disponível por produto.

Produto	Quantidade
A	4.513
B	5.614
C	4.872
D	4.090

Fonte: Autoria Própria (2022).

Como pode ser visualizado no Quadro 13, os produtos que apresentaram maiores estoques foram B e C respectivamente e, em contrapartida, os produtos A e D apresentaram os menores níveis de estoque disponível. O estoque total necessário para a empresa garantir o suprimento da demanda foi de 19.089 produtos.

Com o intuito de visualizar o tempo entre o pedido do cliente, e a chegada do produto até ele, se estabeleceu o indicador de *lead time* a ser considerado na simulação. No Quadro 14, na primeira coluna estão presentes os produtos ofertados pela empresa, e na segunda, o valor do *lead time* em dias para cada um deles.

Quadro 14 - Cenário 1: *Lead time* por produto.

Produto	Valor (dias)
A	10,061
B	19,493
C	11,117
D	8,853

Fonte: Autoria Própria (2022).

Como pode-se perceber no Quadro 14, o produto que apresentou menor *lead time* foi o produto D, seguido pelo produto A, já B e C, os produtos com maior nível de estocagem, apresentaram tempos maiores, principalmente o produto B, com uma média muito superior ao restante das outras mercadorias.

5.1.2 Cenário 2 – Instalação do novo CD considerando a existência do atual e com a demanda dobrada

No cenário 2, o objetivo da simulação continua o mesmo: encontrar a melhor localização possível para a instalação do novo CD da empresa. Sua distinção em relação ao cenário base (cenário 1), se dá em relação à demanda, em que, a mesma teve uma elevação de 100%. Este tipo de análise é útil para visualizar um cenário futuro de expansão da demanda da empresa, possibilitando-a adequar sua estratégia para essa situação.

Nos casos em que a empresa define em seu planejamento estratégico, que busca, expandir suas operações de modo a ganhar mercado, a decisão para a nova instalação será diretamente impactada, já que se trata de uma decisão de longo prazo. Em ocasião disso, julgou-se interessante a realização deste experimento, de modo a vislumbrar o impacto da elevação da demanda na escolha do local final.

5.1.2.1 Definição da localização

A primeira otimização realizada foi para encontrar a localização geográfica ideal, para o novo CD da empresa. A simulação foi executada no módulo de *Greenfield Analysis (GFA)*, que serve tanto para encontrar o número ideal de instalações quanto as melhores localidades. Assim, este experimento teve como propósito descobrir o melhor local para sediar o novo CD.

Uma vez executado o experimento GFA, obteve-se a localização, que pode ser vista no Mapa 7. O resultado foi alcançado considerando a localização dos clientes, os produtos ofertados pela organização e a demanda de cada local. O local obtido, está situado no sertão da Paraíba, próximo à cidade de Santa Teresinha – PB, com uma latitude de -7,055 e uma longitude de -37,414.

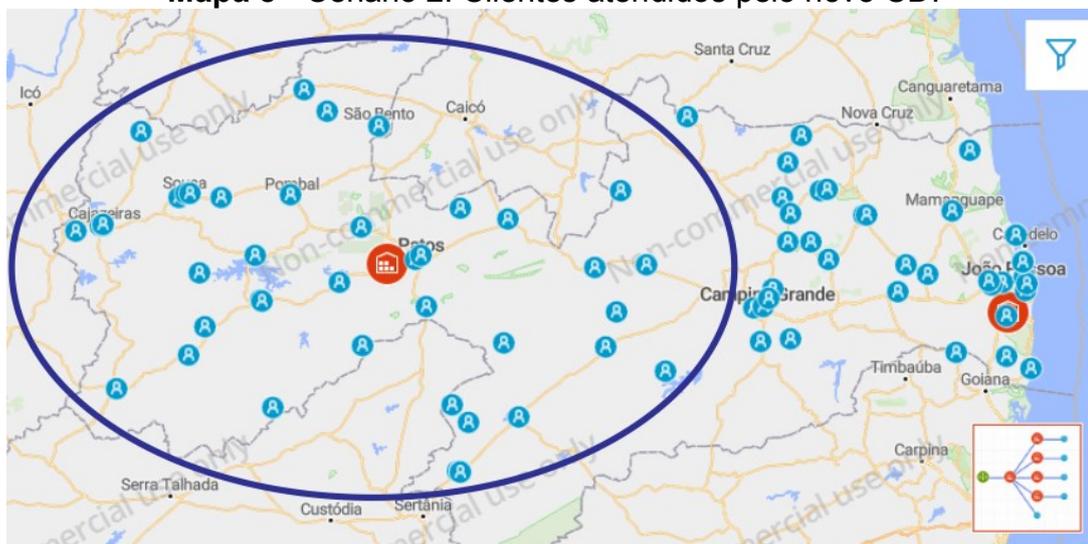
Mapa 7 - Cenário 2: Localização obtida.



Fonte: Autoria Própria (2022).

O local resultante ficou próximo a Patos-PB, que dentre as cidades, da região sertão é a que conta com a maior demanda. Além disso, o local está situado na parte central dentre os clientes atendidos pelo novo CD (Mapa 8), garantindo um tempo de entrega razoável para todos os compradores.

Mapa 8 - Cenário 2: Clientes atendidos pelo novo CD.



Fonte: Autoria Própria (2022).

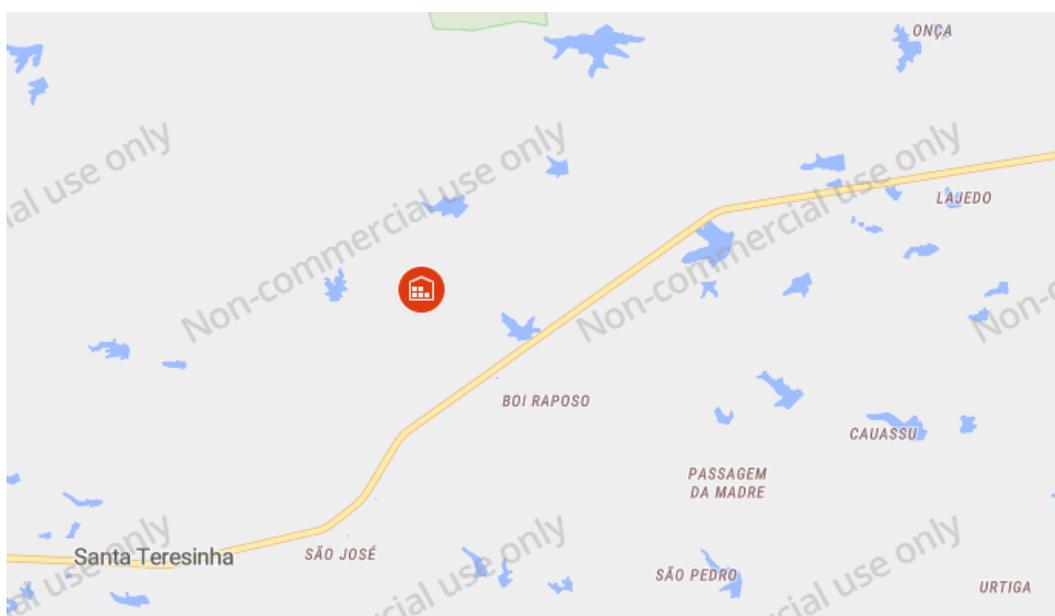
5.1.2.2 Otimização da localização

Este tipo de simulação, é realizada com a finalidade de otimizar o resultado obtido no experimento GFA. Nesta etapa, foram inseridos novos dados que contribuem para uma escolha mais crítica do local para o novo centro de distribuição. Custos de instalação, processamento, tamanho da frota, preço de venda e custo das mercadorias, foram novos elementos adicionados ao cenário.

A primeira etapa da análise do cenário visa encontrar o melhor local possível para o CD ser instalado, utilizando o experimento GFA. Porém, o GFA tem restrições importantes em sua execução, o mesmo não considera fatores importantes para tomada de decisão de instalações, ele não engloba, custos de instalação, funcionamento e condições de infraestrutura da localidade.

Nessas circunstâncias, julgou-se interessante executar o experimento de otimização NO, uma vez que o mesmo engloba os fatores supracitados. Assim, foram analisadas cidades potenciais, que conseguissem suprir as lacunas do local obtido no GFA. Essas cidades foram selecionadas, considerando um raio de até 250 Km do local inicial, dado que, o resultado obtido no GFA ficou localizado em lugar inviável e de difícil acesso (Mapa 9). O raio foi estimado com base na extensão territorial da região, considerado oportuno em relação ao tamanho do estado.

Mapa 9 - Cenário 2: Local obtido no GFA.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Desta maneira, visando possibilitar a obtenção de um local possível para a instalação do novo CD, selecionaram-se as cidades de Patos – PB e Sousa – PB como candidatas viáveis (Mapa 10) para sediar a nova instalação. Essas alternativas foram eleitas com base em suas capacidades de infraestrutura e disponibilidade de mão de obra.

Mapa 10 - Cenário 2: Cidades alternativas para o novo CD.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Após a execução da otimização, a cidade que atingiu o melhor resultado em termos de minimização de custos foi a de Sousa – PB (Mapa 11). O local selecionado apresentou uma capacidade de atender a demanda com menores custos, além de estar mais próximo dos fornecedores, diminuindo consideravelmente o tempo de espera dos insumos em relação à alternativa.

Mapa 11 - Cenário 2: Localização otimizada.



Fonte: Autoria Própria (2022).

5.1.2.3 Simulação final

O propósito desta etapa é visualizar o desempenho da *supply chain* da empresa, com o novo CD instalado em Sousa – PB, a partir de indicadores de desempenho financeiro, de tempo e de estoque. Com uma análise quantitativa de indicadores, o processo de análise para a tomada de decisão torna-se mais simples, propiciando aos gestores uma situação integral a respeito do cenário 2.

Para tal fim, realizou-se o experimento SIM, que pode ser utilizado para simular o contexto observando seu desempenho em relação a estatísticas pré-definidas, além de permitir observar como possíveis alterações feitas no cenário, como mudar política de estoque, afetam o cenário real. Neste trabalho, a simulação se enquadra no primeiro caso, realizado para analisar o desempenho da cadeia de suprimentos sem alterações de parâmetros.

Assim, foi traçado um intervalo de tempo de um ano, simulando o funcionamento da cadeia de suprimentos com o novo CD, isso tornou possível, expor variáveis de desempenho do cenário. Com a execução da simulação com o centro de distribuição instalado na cidade de Sousa - PB, obtiveram-se indicadores financeiros que podem ser visualizados no Quadro 15. Na primeira coluna estão representados os tipos de indicadores monetários e na segunda, os seus respectivos valores.

Quadro 15 - Cenário 2: Indicadores financeiros.

Indicador	Valor (R\$)
Custo total	80.251.082,81
Lucro	53.358.033,59
Custo de transporte	1.303.226,61

Fonte: Autoria Própria (2022).

Os custos de transporte do cenário 2 se mostraram bem mais elevados do que o do cenário base, apresentando uma elevação de cerca de R\$ 319.000,00. Isso deve-se ao fato de a demanda estar dobrada, tendo em vista que se fez necessário a realização de um número maior de viagens para a realização das entregas. O custo total e o lucro líquido do cenário 2, apresentaram, ambos, um aumento ligeiramente maior que 100% em relação ao cenário 1.

Visando auferir uma noção da capacidade de instalação necessária do novo CD, para cumprir a demanda, considerou-se necessário analisar indicadores de

estoque, que posteriormente poderiam ser utilizados para melhorar as políticas de estoque e mensurar prováveis custos de instalação. Deste modo, a performance do Cenário 2 em relação ao estoque disponível de produtos, pode ser visualizada no Quadro 16. Na primeira coluna estão presentes os produtos oferecidos pela empresa e na segunda as quantidades referentes a cada tipo.

Quadro 16 - Cenário 2: Estoque disponível por produto.

Produto	Quantidade
A	9.026
B	11.227
C	9.743
D	8.179

Fonte: Autoria Própria (2022).

No Quadro 16 podem ser vistos os estoques dos produtos, todos apresentaram o mesmo comportamento do cenário base, tendo os produtos A e D apresentado os menores níveis de estoques e os produtos B e C tendo o maior volume estocado respectivamente. Em virtude da elevação da demanda, todos os estoques apresentaram uma elevação de 100% em relação ao cenário 1, implicando em um estoque total de 38.175 produtos.

Para investigar o tempo de espera para o pedido ser entregue ao cliente desde o momento da realização do pedido, o indicador de *lead time* foi averiguado na simulação. No Quadro 17, podem ser visualizadas na primeira coluna as mercadorias ofertadas pela empresa, e na segunda está o valor em dias correspondente ao *lead time*.

Quadro 17 – Cenário 2: Lead time por produto.

Produto	Valor (dias)
A	10,395
B	19,035
C	10,814
D	9,183

Fonte: Autoria Própria (2022).

A partir do Quadro 17, pode-se constatar que os produtos D e A apresentaram os menores *lead times* respectivamente, se mantendo os mesmos do cenário base.

Da mesma forma, assim como o cenário 2, os produtos B e C, ostentam os maiores *lead times*, sendo o produto B com um tempo muito maior que o restante dos produtos.

5.1.3 Cenário 3 – Instalação do CD considerando a existência do atual com queda na demanda

Neste cenário, o intuito da simulação é encontrar o melhor local viável para sediar o novo centro de distribuição. Sua diferenciação em relação aos cenários anteriores (1 e 2) está relacionado com o valor da demanda, em que, esta teve uma redução de 50% em relação ao valor real do cenário base. O propósito da análise desse contexto, com demanda reduzida, é possibilitar a empresa vislumbrar se valerá a pena seguir com a instalação, mesmo prevendo uma queda em suas vendas.

Caso a empresa esteja adotando uma estratégia em que não deseje crescimento, ou prevendo uma queda em sua demanda, com a simulação desse cenário, será possível decidir visando o longo prazo, de maneira mais segura. Por essa razão, qualificou-se como pertinente a realização desses experimentos, de maneira a visualizar o impacto da queda da demanda nas operações do negócio.

5.1.3.1 Definição da localização

O primeiro estágio desse experimento será a realização da *Greenfield Analysis (GFA)*. O objetivo desta otimização é encontrar o melhor ponto geográfico para o novo centro de distribuição da empresa ser instalado. No ambiente do *anyLogistix*, a simulação será realizada no modo GFA, este, viabiliza experimentos para escolha de novos locais, seja o número ótimo de novas instalações ou para encontrar sua melhor posição geográfica. Para este trabalho, o propósito foi encontrar uma posição ótima. Após a execução da simulação, obteve-se o resultado que pode ser visualizado na Mapa 12.

Mapa 12 - Cenário 3: Localização obtida no GFA.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Esta solução foi obtida, considerando a distribuição dos clientes pelo estado, suas respectivas demandas e o mix de produtos ofertados pela empresa. Apesar da redução da demanda, o local obtido permaneceu o mesmo dos cenários 1 e 2, situando-se próximo à cidade de Santa Teresinha – PB, no sertão paraibano, tendo -7,055 de latitude e -37,414 de longitude.

5.1.3.2 Otimização da localização

Esta simulação foi realizada de modo a obter a otimização da solução alcançada com o GFA. Neste estágio, foram inseridos novos parâmetros que colaboram para a robustez da escolha do local para a nova instalação. Preço de venda, custo das mercadorias, custos de processamento, custos de aluguel, foram alguns dos novos dados adicionados e utilizados para realização deste experimento.

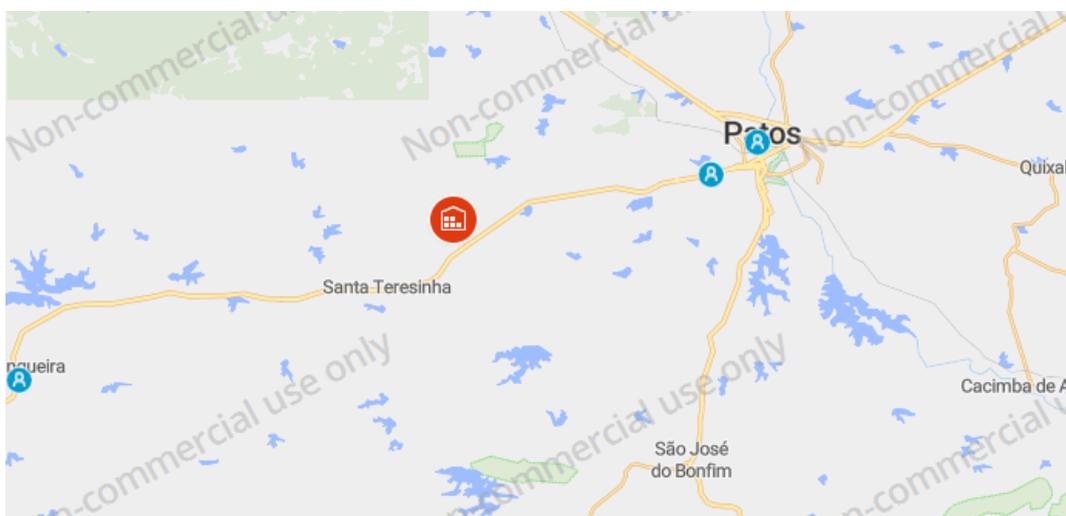
O primeiro experimento deste cenário, visou obter a melhor posição geográfica para o novo CD da empresa ser instalado, utilizando o módulo GFA do *anyLogistix*. No entanto, o GFA não considera condições significativas, como, infraestrutura da região e de transporte, resultando em escolha de locais inviáveis para abrigar as instalações. Além disso, esse módulo do *software* não considera dados importantes para decisões de novas instalações, como custos de transporte, processamento e posição dos fornecedores.

Nesta situação, qualificou-se necessário otimizar o resultado obtido no GFA, executando a *Network Optimization*. O NO é utilizado para melhorar muitos fatores da cadeia de suprimentos, como fluxo de produtos, localização ótima de distribuição ou

produção e opções de fornecimento. No caso deste trabalho, o objetivo da simulação era otimizar a localização obtida no GFA.

Assim, definiram-se cidades postulantes com boa capacidade de infraestrutura próximas ao local obtido no GFA, que poderiam abrigar a nova instalação da empresa. Esses municípios foram eleitos atendendo os seguintes critérios: mão de obra qualificada, boa infraestrutura de transporte e estarem em um raio de até 250 km do local GFA. Visto que, o resultado obtido na simulação GFA situou-se em um ponto inviável e de difícil acesso (Mapa 13), julgou-se pertinente definir cidades alternativas nessa distância citada. Este raio foi definido observando as dimensões territoriais do estado da Paraíba, considerado oportuno para o tamanho da região.

Mapa 13 - Cenário 3: Local inviável obtido no GFA.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Isto posto, elegeram-se as cidades de Pombal – PB, Patos – PB e Sousa – PB como potenciais locais para abrigar a nova instalação da organização (Mapa 14). Esses municípios foram definidos baseados em sua capacidade de infraestrutura, além de serem cidades com as maiores demandas do sertão paraibano, próximas ao local obtido no GFA.

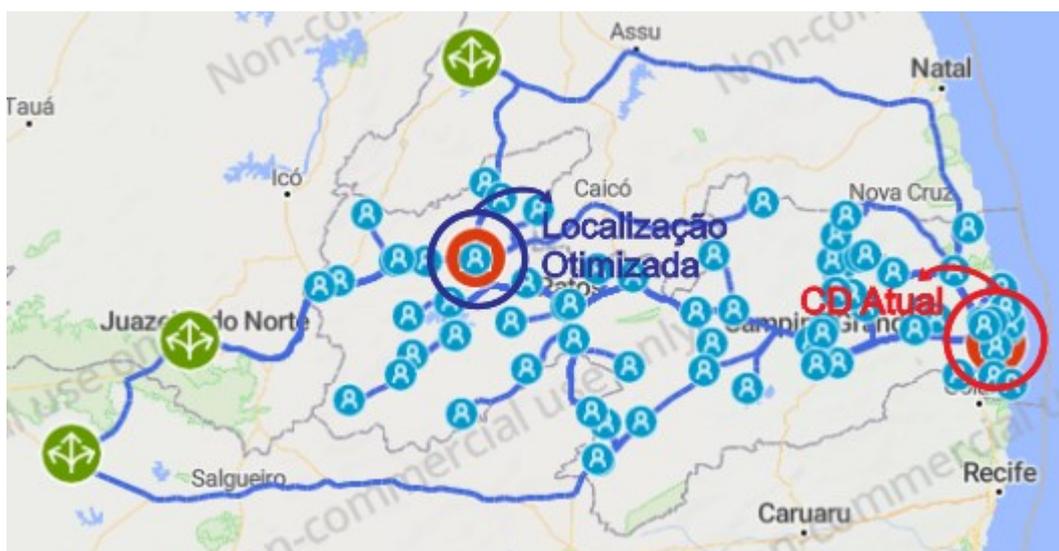
Mapa 14 - Cenário 3: Cidades alternativas para o novo CD.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Após a realização da simulação, o município que obteve o melhor desempenho minimizando custos foi Pombal – PB (Mapa 15). A localização otimizada obtida, demonstrou uma capacidade de atender todos os clientes com custos consideravelmente menores que suas concorrentes.

Mapa 15 - Cenário 3: Localização otimizada.



Fonte: Autoria Própria (2022).

5.1.3.3 Simulação final

Este estágio tem como meta verificar o desempenho da cadeia de suprimentos, a partir de indicadores pré-definidos, já considerando o novo CD instalado no município de Pombal-PB. Indicadores financeiros, de tempo e de estoque são as

medidas que balizaram a análise da cadeia de suprimentos do cenário 3. A partir da análise quantitativa do desempenho do cenário, será mais simples para os gestores desenvolverem uma visão holística a respeito do cenário 3.

Com esse propósito, foi empreendido o experimento SIM, que serve tanto para permitir observar como determinadas alterações afetam o cenário, quanto para simular uma situação verificando o seu desempenho em algumas métricas definidas. O segundo caso, foi o utilizado neste presente trabalho, tendo como finalidade analisar o desempenho de estoque, financeiro e de tempo de toda a cadeia de suprimentos.

Para um intervalo de tempo de um ano, foi simulado o funcionamento do cenário, com o novo centro de distribuição. Os resultados dos indicadores podem ser visualizados no Quadro 18, estando na primeira coluna, o nome dos parâmetros financeiros e na segunda os seus respectivos valores.

Quadro 18 - Cenário 3: Indicadores financeiros.

Indicador	Valor (R\$)
Custo Total	20.732.161,05
Lucro	12.718.014,55
Custo de Transporte	874.621,46

Fonte: Autoria Própria (2022).

Apesar da queda de 50% da demanda, em relação ao cenário original (cenário 1), os custos de transporte não apresentaram uma queda brusca, já o custo total do cenário ostentou um decréscimo de cerca de 50% em referência ao cenário base. O lucro líquido da empresa, nesta simulação, protagonizou uma queda acentuada com relação aos cenários anteriores (1 e 2). Demonstrou uma queda de R\$ 13.566.526,97, em comparação com o cenário 1, cerca de 52% inferior.

Indicadores de estoque disponíveis podem ser visualizados no Quadro 19. Julgou-se necessário, a obtenção dessas métricas para a obtenção de insights a respeito de políticas de estoque, além de informações úteis para uma previsão de capacidade necessária para a nova instalação do negócio. Na primeira coluna do Quadro 19, estão apresentados os produtos oferecidos pela empresa e na segunda suas respectivas quantidades.

Quadro 19 - Cenário 3: Estoque disponível por produto.

Produto	Quantidade
A	2.260
B	2.811
C	2.439
D	2.048

Fonte: Autoria Própria (2022).

Os estoques disponíveis para cada produto, que podem ser observados no Quadro 19, os mesmos, expuseram um comportamento distinto, se comparado aos cenários 1 e 2. Neste cenário, os produtos B e C foram os que demonstraram os maiores volumes de estoque e as mercadorias A e D apresentaram as menores quantidades estocadas. Em consequência da queda da demanda, o volume total de produtos a serem armazenados pela empresa foi de 9.558 produtos.

Para analisar o desempenho do cenário 3, no que tange tempo de entrega das mercadorias, julgou-se pertinente a obtenção do indicador de *lead time*. Pode ser visualizado, no Quadro 20, na primeira coluna, os nomes dos produtos entregues pela organização, e na segunda, os valores de *lead time* correspondente em dias.

Quadro 20 – Cenário 3: Lead time por produto.

Produto	Valor (dias)
A	10,061
B	19,499
C	11,115
D	8,853

Fonte: Autoria Própria (2022)

Os produtos B e C, como pode ser visto no Quadro 20, apresentaram os maiores *lead times*, dentre todos os produtos ofertados pela empresa, se mantendo iguais aos do cenário base. Seguindo o comportamento do cenário 1, os produtos B e C foram os que apresentaram menores *lead times*.

5.1.4 Cenário 4 - Instalação de dois novos CDs sem considerar a existência do atual

Este cenário tem como propósito encontrar as melhores localizações possíveis para dois novos centros de distribuição da empresa, desconsiderando o CD atual da

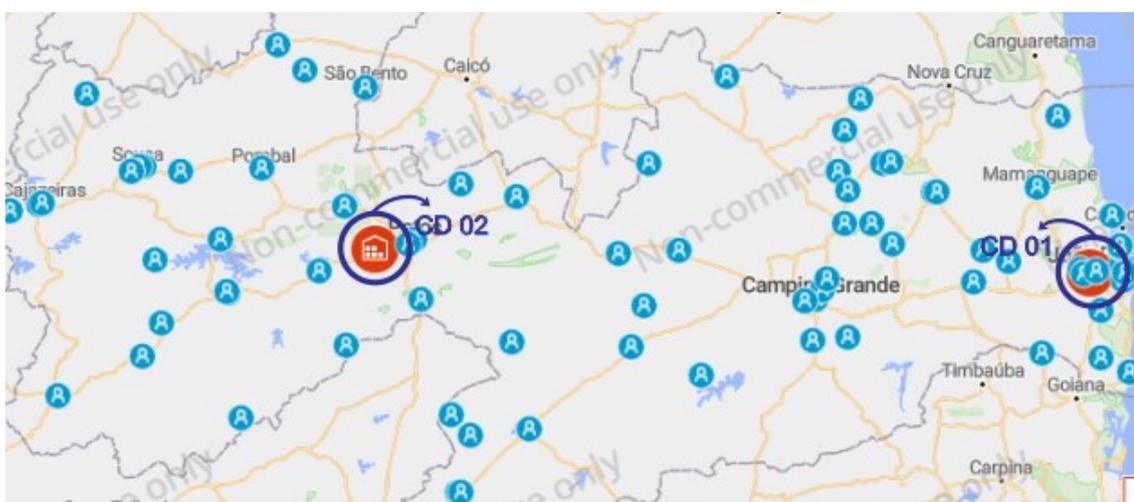
organização. Esta simulação é importante, pois torna possível analisar a eficiência e custos do centro atual e qual seria a melhor opção viável para o mesmo a fim de atender a demanda e reduzir custos.

Neste cenário, a demanda real dos clientes da empresa será utilizada, da mesma maneira que o cenário 1. Alicerçado nos dados inseridos, espera-se obter locais viáveis para os novos CDs, além de um ótimo desempenho da cadeia de suprimentos da organização, por não considerar gargalos de produção e problemas de estocagem.

5.1.4.1 Localização dos novos CD

O experimento promovido nesta etapa é a *Greenfield Analysis (GFA)*, que utiliza da demanda dos clientes e suas respectivas posições, além do conjunto de mercadorias comercializadas pela empresa. A simulação GFA é empregue para encontrar o número ideal de instalações para atender toda a demanda ou para obter a melhor localização geográfica, buscando a minimização de custos. Neste trabalho, o GFA será utilizado para encontrar os melhores locais para as novas instalações do negócio, uma vez que o número de instalações já foi definido previamente.

Mapa 16 - Cenário 4: Localização do novo CD.

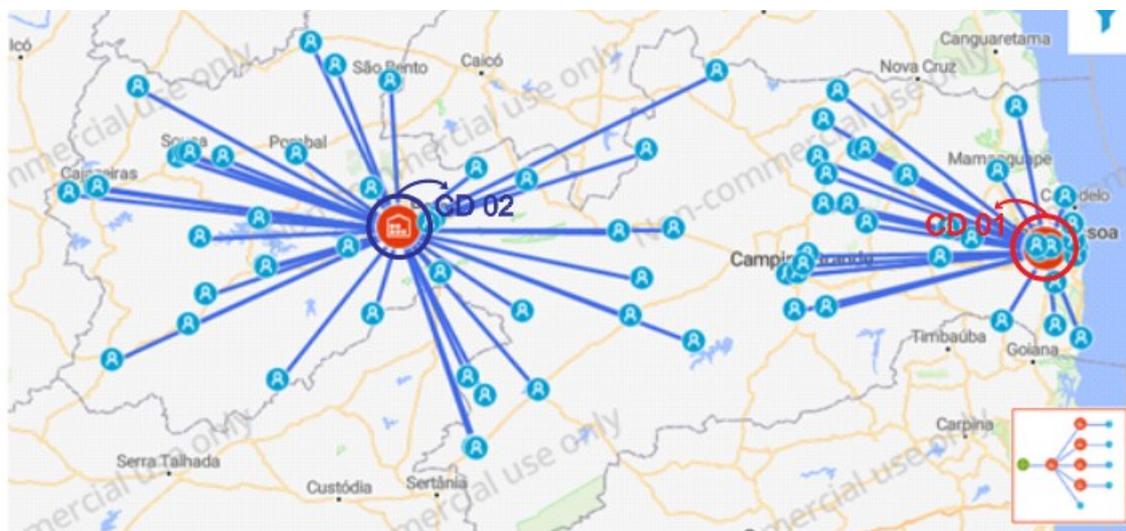


Fonte: Autoria Própria (2022).

Em seguida a simulação GFA, os dois novos locais para os CDs foram obtidos e podem ser visualizados na Figura 20. O CD 01 está localizado próximo da cidade de Bayeux, tendo $-7,137$ de latitude e $-34,947$ de longitude, já o CD 02 ficou próximo à cidade de Santa Teresinha – PB com $-7,055$ de latitude e $-37,414$ de longitude. No

Mapa 17 podem ser vistos os clientes atendidos por cada um dos centros de distribuição.

Mapa 17 - Cenário 4: Clientes atendidos por cada CD.



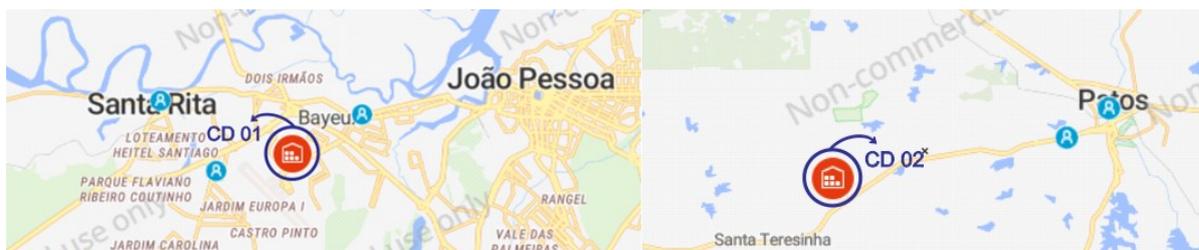
Fonte: Autoria Própria (2022).

5.1.4.2 Otimização da localização

Esta otimização tem como intenção aperfeiçoar as localidades obtidas no experimento GFA, inserindo dados e parâmetros que não foram considerados na escolha inicial do local. Custos de transporte, de processamento, custos para instalação inicial da facilidade, localização dos fornecedores, preço de venda, assim como custo dos produtos, foram dados adicionados para a realização dessa otimização.

A GFA é aplicada para obtenção do melhor local geográfico para abrigar uma nova instalação de determinada organização, porém neste método, dados importantes a serem apreciados em uma tomada de decisão de uma nova facilidade não fazem parte do escopo da simulação GFA, como custos, fatores de infraestrutura e posição dos fornecedores. Assim, nessa circunstância, julgou-se imprescindível a execução de um novo experimento, esse, capaz de considerar todos os fatores negligenciados pela simulação anterior.

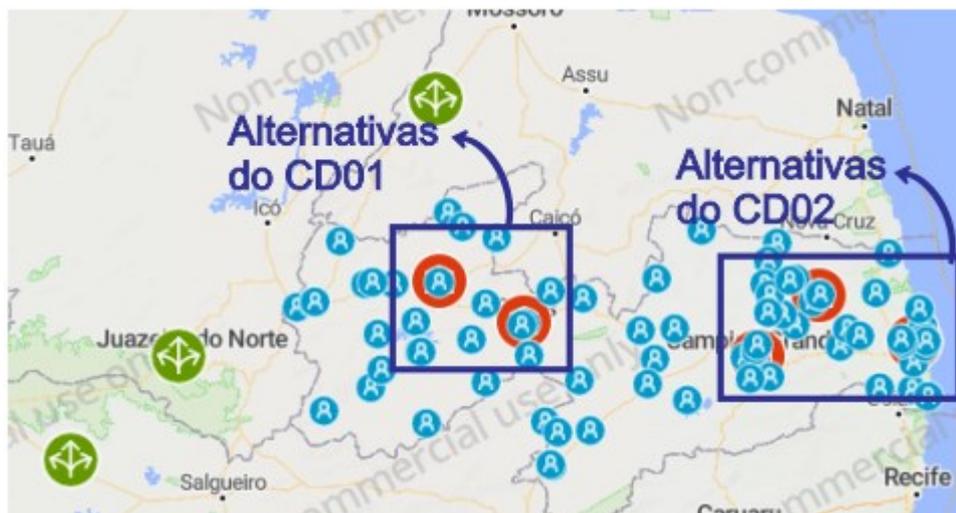
Mapa 18 - Ponto geográfico aumentado para cada CD.



Fonte: Autoria Própria (2022).

A partir dos locais obtidos no GFA, foram levantados municípios viáveis em um raio de até 150 Km, visto que os pontos obtidos pela *Greenfield Analysis*, ocasionalmente se encontram em locais remotos, mostrando-se inviáveis para abrigar uma nova instalação do negócio. Como pode ser visto no Mapa 19, para proporcionar a concepção dos novos CDs, definiram-se as cidades de João Pessoa – PB, Campina Grande – PB e Guarabira – PB como alternativas para o CD01 e para o CD02 os municípios de Patos-PB e Pombal-PB.

Mapa 19 - Cenário 4: Alternativas para os CDs.

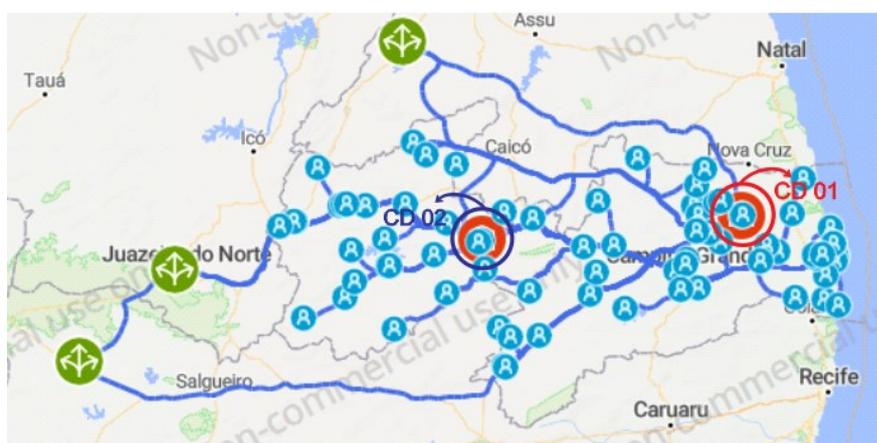


Fonte: Autoria Própria (2022).

Esses municípios no raio de até 150 Km foram selecionados com base na sua capacidade de infraestrutura, além de estarem dentre as cidades com as maiores demandas da empresa, próximas ao local obtido no GFA. Este raio foi estimado com base na extensão territorial do estado, que foi considerada uma distância crível, levando em conta o tamanho do estado.

Após a realização da simulação, a alternativa que obteve o melhor desempenho dentre as do CD01 foi o município de Patos – PB (Mapa 20). Para o CD02 a candidata vencedora foi a cidade de Guarabira – PB (Mapa 20). Ambas as localidades evidenciaram uma capacidade de atender toda a demanda com custos menores que as demais alternativas. Diferentemente dos resultados dos cenários anteriores, a localização do CD02 não se deu na cidade de Pombal – PB, isso pode ser consequência da mudança de local do CD01.

Mapa 20 - Cenário 4: Localização otimizada.



Fonte: Autoria Própria (2022).

5.1.4.3 Simulação final

Esta última etapa tem como intuito averiguar a performance da *supply chain* da organização a partir de indicadores definidos previamente. Essa simulação será realizada considerando o funcionamento dos dois novos centros de distribuição. Estoque disponível de produtos, custos, lucro e *lead time* são os indicadores que irão servir como informações para a análise do cenário 4. Com esse embasamento quantitativo sob posse, será mais fácil para os gestores tomarem suas decisões.

Para realizar essa análise de desempenho, foi executada a simulação SIM, utilizada tanto para simular cenários e observar seu desempenho, quanto para visualizar como determinadas alterações nos parâmetros da situação modificam seu funcionamento e desempenho. Neste trabalho o primeiro caso foi o utilizado, buscando analisar estoque, indicadores financeiros e de tempo.

Considerando um intervalo de tempo de um ano, simulou-se o cenário 4, com os dois novos centros de distribuição em funcionamento. Os frutos dessa simulação

podem ser vistos no Quadro 21, na primeira coluna, estando dispostos os nomes dos indicadores financeiros, e na segunda, os seus respectivos valores.

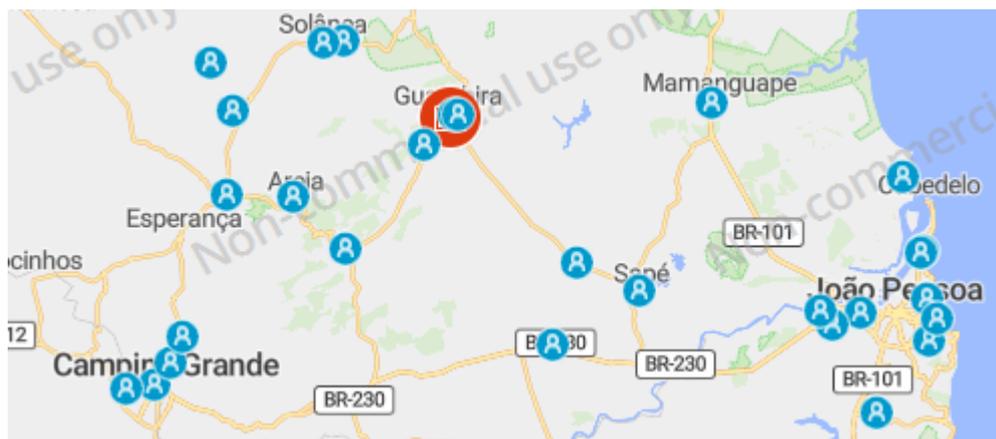
Quadro 21 - Cenário 4: Indicadores Financeiros.

Indicador	Valor (R\$)
Custo Total	41.938.775,204
Lucro	24.865.782,996
Custo de Transporte	2.088.297,241

Fonte: Aatoria Própria (2022).

A partir do Quadro 21, pode-se visualizar que o cenário 4 apresentou um lucro inferior se comparado ao cenário base (R\$ 26.284.541,52) e custos mais elevados, cerca de R\$ 1.400.000,00 a mais do que o cenário 1. Estes resultados podem ser em decorrência dos custos iniciais de instalação e construção dos dois novos CDs, que impactam no começo do funcionamento, mas que posteriormente iriam desaparecer.

Além disso, os custos de transporte apresentaram uma discrepância considerável em relação ao cenário 1, apresentando uma elevação superior a 100%. Estes custos elevados de transporte podem ser consequência do fato de o CD01 estar mais longe da cidade de João Pessoa – PB, do que o CD atual no Conde- PB, sendo a capital paraibana, a que possui a maior demanda por produtos da empresa, com isso foram necessários realizar viagens bem mais longas e custosas do que a rota de entrega na situação real. Vale salientar que o CD01 está localizado entre as cidades de João Pessoa – PB e Campina Grande – PB (Figura 25), as maiores consumidoras de mercadorias da organização, tornando o centro de distribuição mais preparado para suprir uma possível alta de demanda em ambas as cidades, ao contrário do CD existente no Conde-PB.

Mapa 21 - CD entre as maiores demandas.

Fonte: Autoria Própria (2022).

Para adquirir informações que ajudassem a empresa com políticas de estocagem, além de servir de embasamento para realizar previsão de capacidade, planejamento de *layout* e custos para os novos CD's, qualificou-se pertinente a avaliação de indicadores relacionados a estoque. A partir da simulação de um período de um ano, foi possível obter resultados relacionados a estocagem dos produtos, como pode ser visto no Quadro 22, em que, na primeira coluna estão dispostos os indicadores e na segunda as suas respectivas quantidades.

Quadro 22 - Cenário 4: Estoque disponível por produto.

Produto	Quantidade
A	4.513
B	5.614
C	4.872
D	4.090

Fonte: Autoria Própria (2022).

No Quadro 22, pode-se observar que os produtos que apresentaram menores estoques foram A e D, e os produtos B e C foram os que exibiram maiores volumes estocados. O total de volume estocado foi de 19.089 produtos, assim como no cenário 1.

Para angariar informações úteis a respeito do nível de serviço, tempo de entrega do pedido do cliente até sua entrega, definiu-se o indicador de *lead time* para análise. No Quadro 23 estão dispostas informações sobre esse tempo, estando

expostas na primeira coluna os produtos oferecidos pela organização e na segunda o *lead time* em dias necessários para sua operação.

Quadro 23 - Cenário 4: *Lead time* por produto.

Produto	Valor(dias)
A	16,285
B	30,973
C	21,247
D	13,196

Fonte: Autoria Própria (2022).

Os produtos que apresentaram maiores *lead times* foram B e C, como pode ser visto no Quadro 23, permanecendo os mesmos do cenário base, e os produtos D e A tendo maior agilidade na entrega. Contudo, todos os produtos no Cenário 4, apresentaram tempos de entregas bem maiores do que o Cenário 1, que conta com o CD atual da empresa, essa disparidade pode ser visualizada no Quadro 24.

Quadro 24 - Comparativo de *lead time*, cenários 1 e 4.

Produto	Cenário 4 Valor(dias)	Cenário 1 Valor(dias)
A	16,285	10,061
B	30,973	19,493
C	21,247	11,117
D	13,196	8,853

Fonte: Autoria Própria (2022).

5.1.5 Cenário 5 - Instalação de dois novos CDs sem considerar a existência do atual e com a demanda dobrada

O objetivo do cenário 5 é encontrar os locais ótimos para estarem instalados dois novos centros de distribuição, assim como no cenário 4, omitindo o CD existente da empresa no município de Conde – PB. Neste cenário, ao contrário do cenário 4, irá considerar uma elevação na demanda dos clientes em 100%. Qualificou-se como pertinente essa análise, pois é útil para prever um cenário otimista do negócio, tornando a empresa capaz de se preparar, formular estratégias capazes de atender todos os clientes, além de poder perceber o comportamento dos dois novos centros nessa situação.

Caso a organização defina em seu planejamento estratégico, a expansão de suas operações de modo a aumentar sua participação no mercado, isso irá influenciar diretamente na decisão de um novo centro de distribuição, já que se trata de uma situação de longo prazo. A partir disso, julgou-se interessante a realização da simulação deste cenário, tornando capaz de vislumbrar a influência do crescimento acentuado da demanda na decisão de escolha de uma nova instalação.

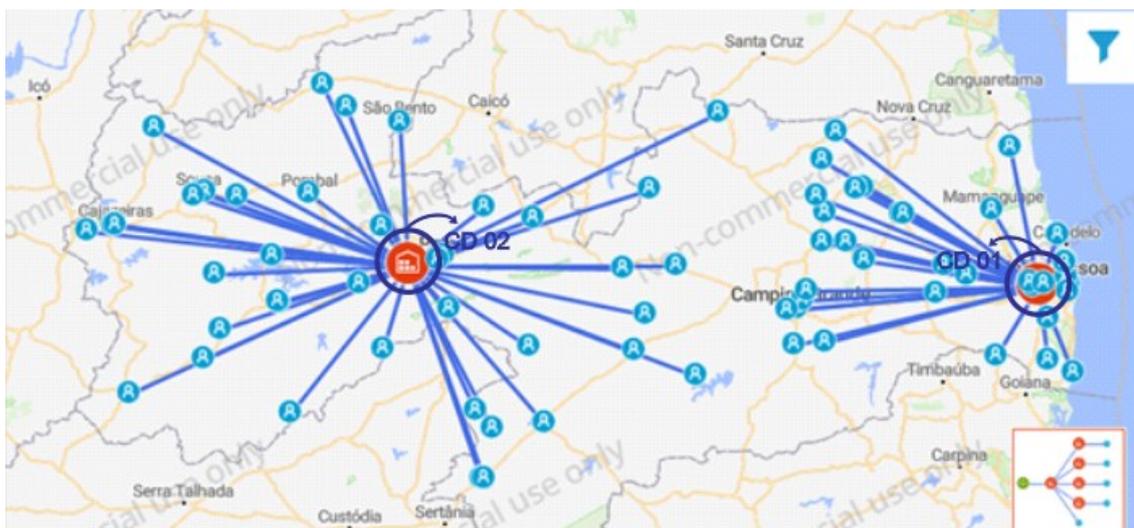
Este experimento é importante, pois serve para avaliar os custos, capacidade e eficiência do centro atual, em comparação com os novos CD's encontrados e qual seria a melhor opção viável em caso de possível adequação da realidade, objetivando atender a demanda e minimizar custos.

Para este cenário, os mesmos tipos de dados serão utilizados: localização dos clientes, produtos ofertados pela empresa, custos e posição dos fornecedores. Embasados nesses dados, pretende-se obter localidades ótimas para a instalação de novos centros de distribuição, que consigam atender toda a demanda e alcançar um bom nível de serviço na cadeia de suprimentos da organização.

5.1.5.1 *Localização dos novos CD's*

A primeira simulação realizada foi a *Greenfield Analysis*, em que foram inseridos os seguintes dados: demanda dos clientes e suas posições e os produtos vendidos pela empresa. Esse tipo de simulação GFA é aplicada em duas situações, a primeira para encontrar o número ideal de instalações para o negócio e a segunda encontrar o melhor local geográfico para sediar novas instalações. Este trabalho, se encaixa na segunda situação, objetivando encontrar os melhores locais capazes de abrigar os novos CD's minimizando os custos.

Mapa 22 - Cenário 5: Localização do novo CD.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Após a execução do experimento GFA, foram obtidos os locais para os centros de distribuição e podem ser visualizados no Mapa 22. Apesar do aumento da demanda, ambos permaneceram nos mesmos locais do cenário 4, sendo o CD01, localizado próximo à cidade de Bayeux – PB e o CD02 próximo ao município de Santa Teresinha – PB.

5.1.5.2 Otimização da localização

Essa otimização foi feita visando melhorar o resultado obtido na simulação anterior (GFA). Neste estágio, novos dados foram introduzidos no cenário, servindo para enorpá-lo e auxiliando na análise crítica do melhor local para a nova instalação. Preço de venda e custo dos produtos, tamanho e capacidade da frota, posição dos fornecedores, custos iniciais de instalação, custos de processamento, foram subsídios adicionados nesta etapa.

O primeiro experimento realizado neste cenário, o GFA, tinha como objetivo encontrar a melhor posição geográfica, considerando fatores como demanda e posição dos clientes, para o CD ser instalado. Entretanto, esse tipo de aplicação do *software*, tem restrições para seu escopo de análise, o GFA não contempla itens cruciais para uma decisão dessa complexidade, o mesmo não integra dados como, custos de processamento e instalação e capacidade de infraestrutura da localidade.

Nesse contexto, se fez necessário, a execução de uma otimização, a fim de utilizar do resultado obtido no GFA, melhorando-o a partir da inserção dos dados

supracitados. Para isso, foram avaliadas, cidades com potencial que consigam atender os requisitos de infraestrutura e custos buscados pela empresa. Esses municípios foram escolhidos, levando em conta um raio de 200 Km dos locais obtidos no GFA, considerou-se essa distância oportuna tendo em vista as dimensões territoriais do estado da Paraíba.

Com os locais obtidos no primeiro experimento, foram definidas cidades capazes de abrigar as novas instalações, tendo em vista que por vezes, as localizações selecionadas pelo GFA, casualmente se encontram em locais remotos, se mostrando inexecutáveis para sediar uma instalação deste porte. No Mapa 23, podem ser visualizadas as cidades candidatas para sediar os novos CD's, para o CD01 Campina Grande – PB, Sapé – PB e Guarabira – PB e para o CD02 as cidades de Cajazeiras – PB, Patos – PB e Sousa – PB.

Mapa 23 - Cenário 5: Alternativas para os CDs.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Após a execução da simulação, as opções que obtiveram melhores desempenho foram Guarabira – PB para o CD01 e Patos – PB (Mapa 24) para o CD02. Assim como no cenário 4, as localizações obtidas foram as mesmas, se mostrando capazes de atender a demanda da organização minimizando os custos totais.

Mapa 24 - Cenário 5: Localizações otimizadas.



Fonte: Autoria Própria (2022).

5.1.5.3 Simulação final

Esta simulação final, teve como alvo analisar o desempenho da cadeia de suprimentos da organização. Foram determinados indicadores pertinentes para essa análise, sendo relacionados a estoque, finanças e tempo de operação. A simulação foi feita com um período de um ano, com os dois novos centros de distribuição otimizados obtidos no experimento anterior. Com esses indicadores em mãos, os gestores da organização terão ainda mais informações úteis para auxiliar na tomada de decisão.

O módulo SIM do *anyLogistix* foi utilizado nesta etapa para tornar possível a análise dos indicadores pré-definidos, o mesmo pode ser empregado para simular cadeias de suprimento em funcionamento e analisar sua performance, assim como para averiguar como mudanças realizadas no cenário como, mudar política de estoque, podem influenciar na cadeia de suprimentos. No caso deste estudo, o módulo SIM foi utilizado no primeiro caso, visando examinar o desempenho de indicadores de estoque, financeiros e de *lead time*.

Considerando um intervalo de tempo de 365 dias, o cenário 5 foi simulado, contando com os dois novos CD's em atividade. Os resultados dos indicadores financeiros da simulação podem ser visualizados no Quadro 25. Na primeira coluna estão expostos os indicadores, e na segunda, os seus resultados.

Quadro 25 - Cenário 5: Indicadores Financeiros.

Indicador	Valor (R\$)
Custo Total	81.691.151,58
Lucro	51.917.964,82
Custo de Transporte	2.280.530,20

Fonte: Aatoria Própria (2022).

Como era de se esperar, o lucro da empresa saltou consideravelmente em relação ao cenário 4, devido ao aumento da demanda, contudo, se comparado ao cenário 2, que também estava com a demanda aumentada, o cenário 4 apresentou um desempenho ligeiramente pior, apresentando um lucro menor (R\$ 1.440.068,77 a menos) e um custo total mais elevado.

A maior disparidade está nos custos de transporte, estando praticamente 100% mais custosa do que as operações do cenário 2, mas isso pode ser em virtude do *trade-off* do cenário, com dois novos centros instalados em locais novos que visam também aumentar o nível de serviço, diminuindo o tempo de entrega, naturalmente os custos de transporte tendem a aumentar. Além disso, devido à localização do CD01 estar mais distante do município de João Pessoa – PB, que conta com a maior demanda da empresa, se faz necessário fazer viagens mais distantes, do que o CD atual da organização na cidade do Conde-PB, acarretando custos elevados de transporte.

Para propiciar a aquisição de informações úteis que auxiliassem a organização a entender o comportamento do estoque de produtos, além de servir de alicerce para previsão de capacidade, custos de instalação para os centros de distribuição novos, julgou-se importante avaliar resultados relativos ao estoque. Uma vez executada a simulação, os resultados obtidos podem ser visualizados no Quadro 26, na primeira coluna estando a lista de produtos oferecidos pela empresa e na segunda coluna as suas quantidades referentes.

Quadro 26 - Cenário 5: Estoque disponível por produto.

Produto	Quantidade
A	9.026
B	11.227
C	9.743
D	8.179

Fonte: Aatoria Própria (2022).

Os produtos que apresentaram maiores níveis de estocagem podem ser visualizados no Quadro 26, sendo as mercadorias B e C, já os produtos D e A foram os que apresentaram menor volume estocado. O volume total de estoque necessário para comportar toda demanda ao final da simulação foi de 38.175 produtos.

De modo a arrecadar informações importantes para analisar o nível de serviço da organização, julgou-se interessante analisar o *lead time* por produtos oferecidos pela empresa. As informações de *lead time* podem ser observadas no Quadro 27, estando na primeira coluna a lista de produtos ofertados, e na segunda o valor em dias necessários para concluir a operação.

Quadro 27 - Cenário 5: *Lead time* por produto.

Produto	Valor (dias)
A	16,288
B	31,022
C	21,282
D	13,194

Fonte: Autoria Própria (2022).

A partir do Quadro 27, pode-se visualizar que os produtos B e C apresentam os maiores tempos de operação, em que o produto B foi muito maior que o restante. Já os produtos A e D apresentam os melhores níveis neste indicador, tendo uma média bem abaixo do que os outros dois produtos. Os *lead times* no cenário 5 permaneceram praticamente os mesmos do cenário 4, o que mostra que o aumento da demanda não conseguiu prejudicar o tempo da operação.

5.1.5.4 Cenário 6 - Instalação de dois novos CDs sem considerar a existência do atual e com queda na demanda

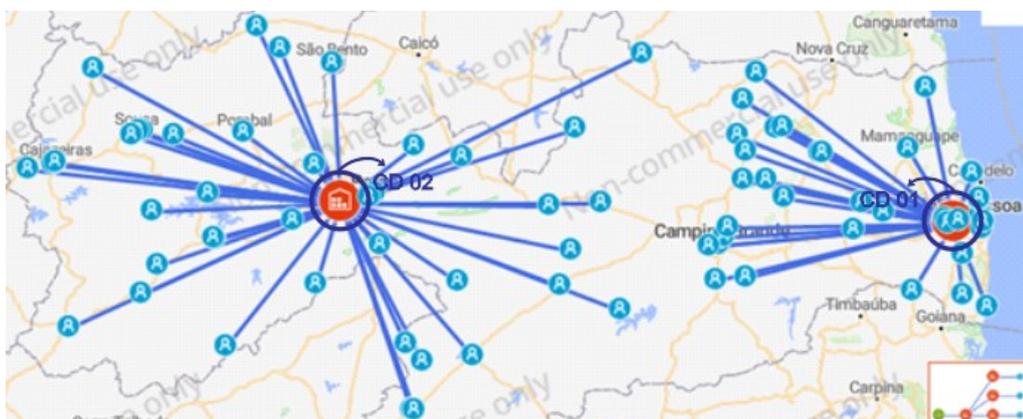
O objetivo deste cenário é encontrar os melhores locais para instalação dos centros de distribuição e analisar seu desempenho. A distinção deste cenário para os anteriores é no valor da demanda dos clientes, nesta etapa, ela passou por uma redução de 50% em contraste com o valor original do cenário 1 (cenário base). Qualificou-se como necessário analisar essa situação com redução na demanda, pois possibilita a organização observar um horizonte se será benéfico à construção dos novos CD's mesmo com uma queda drástica na demanda.

Caso, em seu planejamento estratégico, a organização não esteja buscando crescimento acentuado, ou imaginando um cenário pessimista de queda em suas vendas, esse cenário se fará útil, proporcionando para a empresa informações oportunas para tomar uma decisão visando o longo prazo.

5.1.5.5 *Localização dos novos CD's*

O primeiro experimento realizado neste cenário foi o GFA, cujo objetivo era encontrar a posição ideal para estarem instalados os centros de distribuição. Produtos ofertados pela empresa, sua demanda e a posição dos clientes foram os parâmetros inseridos neste módulo. A simulação de *Greenfield Analysis* é utilizada tanto para encontrar a posição ótima quanto para encontrar o número ideal de instalações. Este estudo se encaixa no primeiro caso, buscando encontrar os pontos geográficos ótimos para os dois centros de distribuição, objetivando minimizar os custos.

Mapa 25 - Cenário 6: Localização dos novos CD.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Uma vez executada a simulação GFA, as localizações ótimas para as novas instalações foram obtidas e podem ser observadas no Mapa 26. Mesmo com a queda acentuada na demanda, os locais obtidos foram os mesmos do cenário 4 e 5. A localização para o CD01 fica próximo à cidade de Bayeux – PB e o local ótimo do CD02 estando localizado próximo ao município de Santa Teresinha – PB.

5.1.5.6 *Otimização da localização*

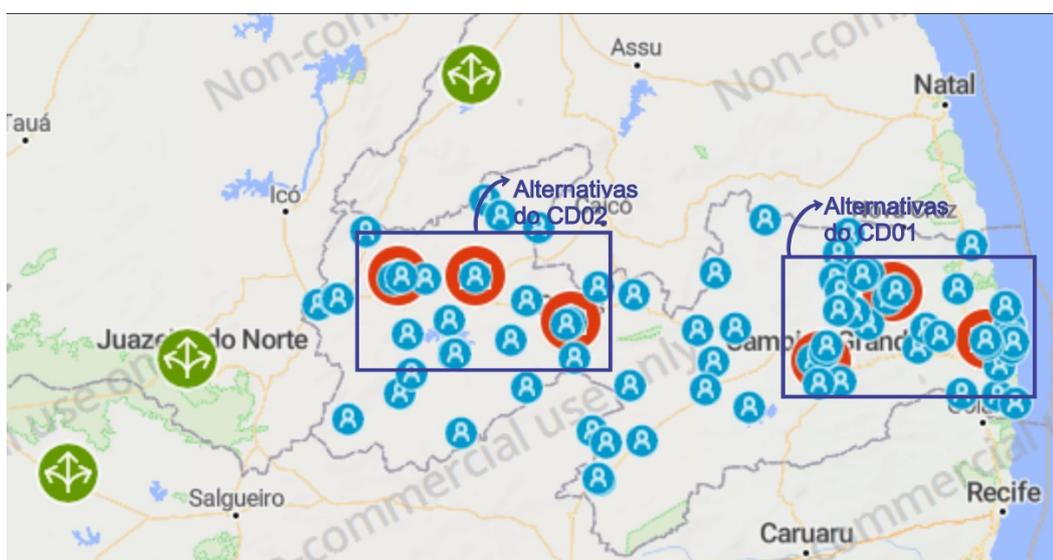
Esta etapa é importante, pois, julgou-se necessário otimizar o resultado obtido no experimento anterior (GFA). Isto é imprescindível, pois, o GFA busca encontrar

apenas a melhor posição geográfica para novas instalações, considerando apenas posicionamento dos clientes e sua demanda e isso, ocasionalmente acarreta locais inviáveis para sediar a instalação de um novo centro de distribuição, além disso, o GFA não incorpora dados importantes em sua decisão, como custos de instalação e processamento, posicionamento de fornecedores, preço e custos dos produtos e a infraestrutura do local.

Assim, nesta etapa novas informações foram aplicadas no contexto, tornando-o mais robusto de maneira a proporcionar uma decisão assertiva no que tange o melhor local para serem instalados os CD's. Para suprir as deficiências da primeira simulação, foram definidas cidades capazes de suprir a demanda por infraestrutura necessária pela empresa. Essas cidades foram selecionadas em um raio de até 200 km dos respectivos locais encontrados no GFA, em que a distância, foi julgada ideal, considerando as dimensões do território do estado da Paraíba.

No Mapa 26, podem ser observadas as cidades possíveis selecionadas para abrigar as novas instalações, para o CD01 foram selecionadas Campina Grande – PB, Santa Rita – PB e Guarabira – PB e para o CD02 as cidades de Pombal – PB, Patos – PB e Sousa – PB.

Mapa 26 - Cenário 6: Alternativas para os CD's.

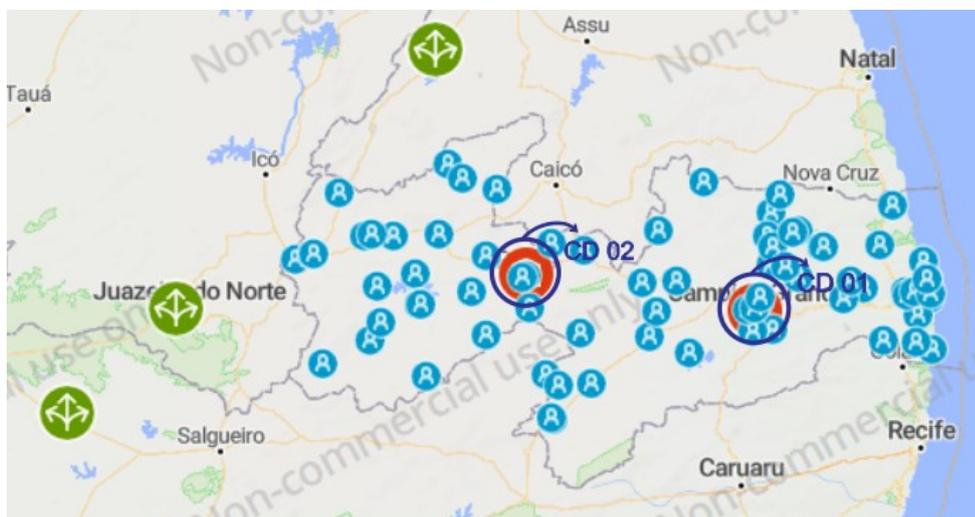


Fonte: Autoria Própria (2022).

Em seguida a realização da otimização, os novos locais foram definidos (Mapa 27). As cidades que obtiveram melhor desempenho foram: Campina Grande – PB

para o CD01 e Patos – PB para o CD02. Diferentemente dos cenários 4 e 5 em que a cidade de Guarabira- PB foi selecionada como ótima para sediar o CD01, dessa vez o município de Campina Grande – PB foi a melhor alternativa, já para o CD02 a cidade de Patos – PB continuou como a melhor escolha.

Mapa 27 - Cenário 6: Localizações otimizadas.



Fonte: Autoria Própria (2022).

5.1.5.7 Simulação final

Esta última etapa visa simular o funcionamento da cadeia de suprimentos já tendo em conta os dois novos CD's funcionando em um período de 1 ano. Considerou-se importante a realização deste experimento para extrair informações úteis a respeito do desempenho da cadeia de suprimentos da organização.

A função SIM realizada pelo *software anyLogistix* permite a realização de simulações em que é possível realizar alterações na cadeia de suprimentos, como fechar uma instalação para obras e analisar o impacto disso na *supply chain* a partir de estatísticas pré-definidas, assim como simular o cenário real e verificar seu desempenho. Este trabalho utilizou a funcionalidade SIM para o segundo caso, buscando analisar o desempenho com os dois novos centros em relação a custos, estoque e *lead time*.

Utilizando um horizonte de tempo de 1 ano, realizou-se a simulação do cenário 6, os resultados obtidos podem ser visualizados no Quadro 28. Na primeira coluna os tipos de indicadores podem ser observados, e na segunda, seus valores correspondentes.

Quadro 28 - Cenário 6: Indicadores financeiros.

Indicador	Valor
Custo Total	21.426.582,069
Lucro	12.023.593,53
Custo de Transporte	1.726.061,57

Fonte: Aatoria Própria (2022).

Como no cenário 3 (demanda reduzida), o lucro da empresa foi muito menor em relação aos cenários 4 e 5, ocasionado pela diminuição da demanda, além disso, quando comparado ao cenário 3, que também contava com queda na demanda, apresentou um lucro líquido inferior, cerca de R\$ 694.421,00 a menos. Os custos totais também se mostraram mais elevados que o do cenário 3.

Os custos de transporte apresentaram a maior discrepância, se mostrando 100% mais elevados em relação ao cenário 3. Devido aos novos centros estarem mais longe de João Pessoa-PB, cidade essa com a maior demanda da empresa, tornou-se necessário a realização de viagens mais longas para atender esta demanda, o que ocasionou no aumento dos custos de transporte.

Para propiciar a aquisição de informações úteis que auxiliassem a organização a entender o comportamento do estoque de produtos, ademais de servir de alicerce para previsão de capacidade, custos de instalação para os centros de distribuição novos, julgou-se importante avaliar resultados relativos a estoque. Uma vez executada a simulação, os resultados obtidos podem ser visualizados no Quadro 29, na primeira coluna estando a lista de produtos oferecidos pela empresa e na segunda coluna as suas quantidades referentes.

Quadro 29 - Cenário 6: Estoque disponível por produto

Produto	Quantidade
A	2.260
B	2.811
C	2.439
D	2.047

Fonte: Aatoria Própria (2022).

As mercadorias que possuíram as maiores quantidades estocadas podem ser vistas no Quadro 29, sendo os produtos B e C, já os itens D e A foram os que

demonstraram menor volume. O volume total de estoque necessário para comportar toda demanda ao final da simulação foi de 9.557 produtos.

Para colher informações para analisar o nível de serviço da empresa, buscou-se avaliar o *lead time* por produtos ofertados pela organização. O resultado das avaliações pode ser visto no Quadro 30, encontrando-se na primeira coluna a lista de produtos comercializados, e na segunda o valor em dias necessários para concluir a entrega.

Quadro 30 - Cenário 6: Lead time por produto

Produto	Valor (dias)
A	14,745
B	27,426
C	18,635
D	12,002

Fonte: Autoria Própria (2022).

No Quadro 30, pode-se perceber que produtos B e C apresentam os maiores tempos de operação, sendo o tempo de operação do produto B bem superior ao restante das mercadorias. Em contrapartida, os produtos A e D tiveram os melhores resultados neste indicador.

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Quadro 31, mostra de forma compacta todas as localizações obtidas em cada cenário após a realização da *Network Optimization*.

Quadro 31 - Localizações em todos os cenários.

Cenário	Demanda	Localização CD01	Localização CD02
1	Normal	-	Pombal - PB
2	Elevada em 100%	-	Sousa - PB
3	Redução de 50%	-	Pombal - PB
4	Normal	Guarabira - PB	Patos - PB
5	Elevada em 100%	Guarabira - PB	Patos - PB
6	Redução de 50%	Campina Grande - PB	Patos - PB

Fonte: Autoria Própria (2022).

Apesar de os experimentos serem realizados com base em cenários independentes, com variações nas localizações alternativas e com diferentes comportamentos de demanda, percebe-se que muitos dos locais ótimos obtidos foram no mesmo lugar. Uma vez que o principal objetivo da simulação era obter as localizações de forma a minimizar os custos, a maioria dos locais obtidos foram em cidades de menor porte que se encontravam no centro do grupo de clientes da empresa, em que os custos de instalação e de funcionamento são consideravelmente menores. No Quadro 32 é possível visualizar o desempenho dos cenários a partir dos indicadores financeiros.

Quadro 32 - Indicadores financeiros em todos os cenários.

Cenário	Demanda	Custo Total (em R\$)	Custos de Transporte (em R\$)	Lucro (em R\$)
1	Normal	40.520.016,68	984.588,58	26.284.541,52
2	Elevada em 100%	80.251.082,59	1.303.226,61	53.358.033,59
3	Redução de 50%	20.732.161,05	874.621,46	12.718.014,55
4	Normal	41.935.775,20	2.088.297,24	24.965.782,97
5	Elevada em 100%	81.691.151,68	2.280.530,20	51.917.964,82
6	Redução de 50%	21.426.582,07	1.726.061,57	12.023.593,53

Fonte: Autoria Própria (2022).

Dentre os cenários com a demanda normal o que obteve melhor desempenho foi o cenário 1, apresentando menores custos e um lucro maior, isso pode se dever ao fato de neste cenário só existir custo de instalação para um CD, já que considera a existência do atual, ao contrário do cenário 4 que precisaria conter o custo de instalação de dois novos CD's. No restante dos cenários a tendência foi a mesma, todos que contam com a existência do atual apresentaram um desempenho ligeiramente melhor.

No indicador de custo de transporte ocorreu a maior discrepância, os cenários que consideram o centro de distribuição atual (1,2 e 3) apresentaram resultados bem melhores em relação aos que consideravam a instalação de dois novos centros (3,4 e 5). Isso pode ser resultado do fato de que os novos CD's que substituíram o CD original situado na cidade do Conde-PB, estarem localizados mais distantes da cidade de João Pessoa – PB, sendo essa a que conta com a maior demanda e, com isso

será necessário aumentar a distância das viagens elevando o custo de transporte. Em contrapartida, para o restante dos clientes próximos o tempo de entrega será reduzido.

A maior diferença pode ser visualizada entre os cenários 1 e 4, em que o cenário 4 apresentou um custo de transporte 112% maior do que o cenário 1. Entre os cenários 2 e 5 a discrepância foi de 75% em favor do cenário 2 e por fim, entre os cenários 3 e 6, o cenário 6 teve um custo de transporte 97% maior do que o cenário 3.

Quadro 33 - Estoque por cenário e produto.

Cenário	Produto	Estoque (Un.)
1	A	4.513
	B	5.614
	C	4.872
	D	4.090
2	A	9.026
	B	11.227
	C	9.743
	D	8.179
3	A	2.260
	B	2.811
	C	2.439
	D	2.048
4	A	4.513
	B	5.614
	C	4.872
	D	4.090
5	A	9.026
	B	11.227
	C	9.743
	D	8.179
6	A	2.260
	B	2.811
	C	2.439
	D	2.047

Fonte: Autoria Própria (2022).

Como pode ser visualizado no Quadro 33, na primeira coluna estão dispostos o cenário dos experimentos, na segunda os produtos ofertados pela organização e na terceira coluna suas respectivas unidades. No que se refere a estoque, o produto que apresentou o maior volume estocado em todos os cenários foi o produto B, seguido do produto C e os produtos D e A, respectivamente apresentando o menor volume estocado.

No Quadro 34, podem ser vistas informações relacionadas aos *lead times* de todos os produtos em todos os cenários, estando na primeira coluna dispostos os cenários, na segunda coluna os produtos da organização e por fim, na terceira coluna, os *lead times* encontrados no experimento SIM. Como pode-se perceber, os produtos que apresentaram maiores *lead times* respectivamente foram B e C, que também ostentaram o maior volume estocado, consequentemente os produtos com menor tempo de entrega para os clientes foram D e A.

Quadro 34 - *Lead time* por cenário e produto.

Cenário	Produto	<i>Lead time</i> (Dias)
1	A	10,06
	B	19,49
	C	11,12
	D	8,85
2	A	10,40
	B	19,04
	C	10,81
	D	9,18
3	A	10,06
	B	19,50
	C	11,12
	D	8,85
4	A	16,30
	B	30,97
	C	21,25
	D	13,20
5	A	16,29
	B	31,02
	C	21,28
	D	13,19
6	A	14,74
	B	27,43
	C	18,64
	D	12,00

Fonte: Autoria Própria (2022).

Conforme foi observado, o estudo permitiu, a partir da realização de simulações, identificar localizações ótimas que servirão como insumo para a tomada de decisão na organização. Utilizando o *anyLogistix* obteve-se um panorama de como a empresa seria impactada em indicadores como *lead time* dos produtos, indicadores financeiros (custo total, custo de transporte e lucro líquido) e indicador de estoque,

oferecendo informações importantes para uma escolha de longo prazo que pode contribuir diretamente para o sucesso ou fracasso da organização.

A partir dos resultados obtidos foi possível perceber a importância que a aplicação da simulação computacional tem para as empresas, seja nos resultados operacionais, como nível de serviço, tempo de entrega, políticas de estoque ou em resultados financeiros como, lucro, custo total ou custos de transporte. A simulação permitiu a construção de cenários que representam a realidade, gerando informações que praticamente isentaram a empresa de tomar riscos que poderiam afetar o negócio negativamente, ou executar mudanças custosas e complexas que não se podem prever os efeitos.

Portanto, a simulação se mostrou como uma ferramenta oportuna e importante para que a empresa tome decisões, implemente melhorias e resolva problemas, com potencial de alavancar os resultados operacionais e financeiros da organização.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo dedicou-se a obter insumos, por meio da simulação computacional que, serviram de base para analisar a viabilidade, da instalação de um centro de distribuição, assim como atestar a potencialidade de locais, para sediar a nova instalação. Para isso, foram construídos, bem como simulados, cenários distintos, nos quais se recorrendo a indicadores financeiros, de custo e estoque, tornou-se possível nitidificar o desempenho das localidades selecionadas.

A presente pesquisa, utilizou de dados reais, disponibilizados por uma organização, assim, foi crível obter-se resultados suasórios e precisos que, indicassem a viabilidade assim como o melhor local para abrigar o novo CD, que contribuísse para o aumento do nível de serviço da cadeia de suprimentos da organização. Apesar da limitação do *software anyLogistix* em sua versão gratuita, exigindo que, alguns clientes próximos entre si, tivessem sua demanda agregada, isto não pormenorizou e afetou a qualidade dos resultados obtidos.

No sentido de investigar a fundo o problema de localização de facilidades, bem como encontrar soluções, quatro objetivos específicos foram definidos. O primeiro trata da modelagem do problema, compreendendo as suas características, parâmetros, restrições e variáveis. Em seguida, realizou-se a implementação do modelo no *software* de simulação *anyLogistix* para definir os sistemas de distribuição da empresa. Depois aplicaram-se os métodos de otimização matemática, para definir os locais ótimos para as instalações e, por fim, foram realizadas análises dos resultados computacionais alcançados.

Em virtude do embasamento teórico efetuado ao decorrer desta pesquisa, foi viável analisar e testar diversos *softwares* de simulação, averiguando-se profundamente qual seria a melhor opção, para contribuir com a resolução do problema objeto do estudo. As variações de demanda (original, redução e crescimento) para a definição dos cenários, os dados de custos, transporte, demandas, posicionamento das localidades utilizados, bem como os tipos de simulações e otimizações (GFA, NO e SIM) executadas estão descritos no corpo deste trabalho.

Para a obtenção dos resultados, a pesquisa iniciou-se com o estudo de trabalhos que utilizaram de simulação computacional no tema de cadeia de suprimentos, que serviram de embasamento para a identificação de *softwares*, que,

posteriormente, passaram por análises e testes. Após a definição do tema, o *software* que melhor atendia o problema do estudo foi definido, dando sequência a coleta e o tratamento dos dados que, foram necessários para execução das simulações, com os experimentos executados, foi possível interpretar e analisar os resultados obtidos, proporcionando a conclusão deste trabalho.

No que se refere aos resultados desta pesquisa, a partir da realização das simulações, em conjunto com as suas interpretações, ficou claro, a partir do experimento GFA, quais foram as melhores localizações para sediar, o novo centro de distribuição da companhia. Após a realização das otimizações no módulo NO do *software*, foi possível obter a escolha entre cidades candidatas, analisando-as em relação a custos de instalação, processamento, posicionamento em relação à clientes, como também fornecedores. Por fim, com as localidades candidatas vencedoras em cada cenário, obteve-se a análise de desempenho de cada instalação em termos financeiros, tempo de entrega, bem como estoque, estando em consonância com os objetivos do trabalho.

A partir do desenvolvimento do estudo, evidenciou-se a potencialidade que a simulação computacional tem, para auxiliar na tomada de decisão que lidam com problemas complexos, permitindo a realização de experimentos, que isentam ou mitigam drasticamente os riscos de negócio, tornando plausível a análise de mudanças, assim como melhorias, visualizando suas consequências no ambiente real. Além disso, possui a capacidade de contribuir diretamente para o incremento dos resultados operacionais das organizações, seja em crescimento de capital ou em minimização de custos.

O método de simulação computacional mostrou-se eficiente, porém complexo. Após concebida a lógica do problema, é difícil projetar todos os agentes e situações que afetam o modelo. Contudo, uma vez que os parâmetros necessários para a execução dos experimentos foram definidos, a coleta e tratamento de dados foram realizados, com a definição dos cenários de análise, a ferramenta e o modelo apresentaram uma execução simples e satisfatória, conforme a finalidade estabelecida previamente.

Há diversas oportunidades de aprimoramento nesta área de estudo, podendo, por exemplo, coletar e inserir no *software* políticas de estoque utilizadas pela organização, melhorar a seleção das localizações candidatas, bem como restrições de capacidade de estocagem e lotes de produção. Outra possibilidade é inserir as

quantidades de insumos necessários, para produção das mercadorias comercializadas pela organização que, influenciam nas políticas de compra e restrições de venda pelos fornecedores. Além disso, outro fator que poderia ser considerado, é a adição de outros tipos de estatísticas a serem analisadas durante o processo de simulação.

Desta maneira, com as aplicações utilizadas neste estudo, assim como os resultados alcançados, projetos futuros poderão utilizar das contribuições oferecidas pelo trabalho, para fornecer embasamento para a tomada de decisão, tornando-as mais simples, apoiando o avanço da simulação computacional como ferramenta crucial para diminuição de riscos, incremento de resultados operacionais e inovação, principalmente na área de cadeia de suprimentos.

REFERÊNCIAS

- Alves, T. C. L.; Tommelein, I. Cadeias de suprimentos na construção civil: análise e simulação computacional. **ResearchGate**, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/255641728_Cadeias_de_suprimentos_na_construcao_civil_analise_e_simulacao_computacional. Acesso em: 22 de nov. de 2021
- ARENALES M.; *et al.* **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos / logística empresarial**. 5 Ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2006.
- BATEMAN, R. E. *et al.* **Simulação de sistemas**: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- BAUER, V. I. *et al.* Optimization of technological transport sets using anylogic simulation environment. **Journal of Mechanical Engineering Research and Developments**, v. 42, p. 41-43. 2019. DOI: 10.26480/jmerd.02.2019.41.43. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332153780_Optimization_of_technological_transport_sets_using_anylogic_simulation_environment. Acesso em: 18 de nov. 2021.
- BECKER, F. **Teoria das restrições aplicada à cadeia de suprimentos do varejo: uma análise com uso de modelo de simulação**. 2016. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/2696>. Acesso em: 17 nov. 2021.
- BERGUE, L. X. **Análise das potencialidades do uso da ferramenta de simulação computacional em operações logísticas**: estudo de caso em um armazém geral. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/1510>. Acesso em: 13 set. 2022.
- BORELLA, M. R. de C.; DA SILVA, G. C. Estudo logístico para instalação de novo CD: abordagem didática de um caso real. **Revista Produção Online**, v. 19, n. 3, p. 896–922, 2019. DOI: 10.14488/1676-1901.v19i3.3330. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/3330>. Acesso em: 19 mai. 2022.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- CAVALCANTE, I. M. **Seleção de fornecedores por meio de simulação e machine learning com as ferramentas KNN e LR**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/211702>. Acesso em: 13 de set. 2022.

CHIARINI, M. *et al.* **Desenvolvimento de um modelo de simulação para análise da cadeia de suprimentos de petróleo e distribuição de derivados da petrobras na região de SAO PAULO.** In: RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE 2004, 1., 2004, Rio de Janeiro - RJ: Anais da Rio Oil & Gas Expo And Conference 2004., 2004. p. 1-8. Disponível em: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21059782>. Acesso em: 20 nov. 2021.

CHUNG, C. A. **Simulation modeling handbook: a practical approach.** Florida: CRC Press, 2004. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=JhV6Ry6UMDQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Simulation+modeling+handbook:+a+#v=onepage&q=Simulation%20modeling%20handbook%3A%20a&f=false>. Acesso em: 10 ago. 2022.

COMPANY, The Anylogic (org.). **MISSION.** 2022. Disponível em: <https://the.anylogic.com/>. Acesso em: 11 ago. 2022.

CORREA, H. L.; CORREA, C. A. **Administração de produção e operações.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

CSCMP – COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. **What is Supply Chain Management?** CSCMP, 2022. Disponível em: https://cscmp.org/CSCMP/Certify/Fundamentals/What_is_Supply_Chain_Management.aspx?WebsiteKey=0b3f453d-bd90-4121-83cf-172a90b226a9. Acesso em: 9 ago. 2022.

DALTRO, V. S. **Gestão da cadeia de suprimentos: um estudo de caso do setor siderúrgico.** 2013. 63 f. Monografia (Graduação em Administração) – Curso de Administração – Faculdade de Economia, Administração, Atuária, Contabilidade e Secretariado Executivo, Fortaleza. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/30079>. Acesso em: 9 ago. 2022.

DIAMOND, R.; HARRELL, C.R.; HENRIKSEN, J.O.; NORDGREN, W.B.; PEGDEN, C.D.; ROHRER, M.W.; WALLER, A.P.; LAW, A.M.. The current and future status of simulation software (panel). **Proceedings Of The Winter Simulation Conference**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 1633-1640, 14 ago. 2022. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/wsc.2002.1166445>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1166445>. Acesso em: 14 ago. 2022.

DIONIZIO, P. T.; HERCULANI, R. Simulação do software arena para o abastecimento de refrigerantes em uma rede de supermercados no município de bebedouro (SP). **Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p.101-111. 2019. DOI: <https://doi.org/10.31510/infa.v16i2.634>. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/634>. Acesso em: 16 de nov. 2021.

Dukulis, I. Using of anylogic and extendsim in modelling of biofuel logistic systems. **Agricultural Engineering**, p. 249-257. 2008. Disponível em <https://www.yumpu.com/en/document/view/30732355/using-of-anylogic-and-extendsim-in-modelling-of>. Acesso em: 22 de nov. de 2021

FERREIRA, L. **Um modelo de simulação baseado em agentes para análise de cadeias de suprimento.** 2009. 179p. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/15714#>. Acesso em: 22 de nov. de 2021.

FLEXSIM Software Products (org.). **FlexSim**. 2022. Disponível em: <https://www.flexsim.com/pt/flexsim/>. Acesso em: 14 ago. 2022.

FRAZZON, E. M. *et al.* Simulação de cadeias de suprimentos de peças de reposição. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35, 2015, Fortaleza. **Anais[...]** Fortaleza: Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), 2015. p. 1-18.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GRANADOS, M. R.; HERNÁNDEZ, J.E.; LYONS A. C. A discrete-event simulation model for supporting the first-tier supplier decision-making in a UK's automotive industry. **Journal of Applied Research and Technology**, v.12, n.5, p.860-870. 2014. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)70592-9](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)70592-9). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1665642314705929>. Acesso em: 17 de nov. 2021.

GRIGORYEV, I. **Anylogic em três dias**. 2 ed. 2015. Disponível em: <https://www.anylogic.com/upload/al-in-3-days/anylogic-7-em-tres-dias.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2022.

MENDES, D. S.; CORREIA, A. R.; TOZI, L. A. Análise de alternativas para aumento da produtividade e qualidade operacional de terminais de cargas em aeroportos por meio de simulação computacional. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 2, p. 124-143, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jtl/a/MsjPB5HwTsSZ8ZyRkxjtMjf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 de nov. 2021.

MIRANDA, P. A. *et al.* A simulation based modelling approach to jointly support and evaluate spare parts supply chain network and maintenance system. **IFAC-PapersOnLine**, v.52, p. 2231-2236. 2019. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.537. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319315216>. Acesso em: 17 de nov. 2021.

MOOSAVI, J.; HOSSEINI, S. Simulation-based assessment of supply chain resilience with consideration of recovery strategies in the COVID-19 pandemic contexto. **Computers & Industrial Engineering**, v. 160, p. 1-16. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107593>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835221004976>. Acesso em: 19 de nov. 2021.

MOREIRA, D. **Administração da produção e operações**. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

NASCIMENTO, F. P. **Classificação da pesquisa**: natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos. Brasília: Thesaurus, 2016.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

OLIVEIRA, C. M. **Desenvolvimento de um sistema de simulação para cadeias de suprimentos**. 2004. 111p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detail/333928>. Acesso em: 22 de nov. de 2021.

Oliveira, C. M.; C, Henriques, M. F. Análise de políticas de gestão em cadeias de suprimentos por modelos de simulação. **Gestão & Produção [online]**, v. 11, n. 3, p. 313-329. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2004000300006>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2004000300006>. Acesso em: 21 de nov. de 2021

PARAGON TECNOLOGIA. **Introdução a simulação com o ARENA**. 1 ed. São Paulo: Paragon tecnologia, 2000.

PAWLEWSKI, P. *et al.* Just in sequence delivery improvement based on flexsim simulation experiment. **Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)**, Posnânia, p. 1387-1398, 2012. DOI: 10.1109/WSC.2012.6465025. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/646502>. Acesso em: 11 de nov. 2021.

PEGAS, P. H. **Simulação baseada em agentes para uma cadeia de suprimentos com impressão 3D: uma análise comparativa utilizando Anylogic**. 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16138>. Acesso em: 18 nov. 2021

PEINALDO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção**: (operações industriais e de serviços). 1 ed. Curitiba: UnicenP, 2007.

PEREIRA, A. S. *et al.* **Metodologia da pesquisa científica**. 1 ed. Santa Maria: UAB/NTE/UFSM, 2018.

PIRES, S. R. I. **Gestão da cadeia de suprimentos (supply chain management)**. 2 ed. São Paulo, 2007.

REN, J. *et al.* Selection of pallet management strategies from the perspective of supply chain cost with Anylogic software. **PLoS ONE**, v. 14, p. 1-18. 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0217995. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Selection-of-pallet-management-strategies-from-the-Ren-Zhao/43f2d75cc15f05b06cecc3d39ddc8bca81f33754>. Acesso em: 20 de nov. 2021.

ROCKWELL AUTOMATION (org.). **Arena Simulation Software**. 2022. Disponível em: <https://www.rockwellautomation.com/pt-br/products/software/arenasimulation.html>. Acesso em: 11 ago. 2022.

SALIBY, Eduardo. **SOFTWARES PARA SIMULAÇÃO**. ILOS, 1997. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/software-para-simulacao-2/>. Acesso em: 14 ago. 2022.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. 1. ed. São Paulo: Edipro, 2016.

SILVA, E. M. M. *et al.* Simulação híbrida do processo produtivo do palmito de pupunha. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 47, 2015, Porto de Galinhas. **Anais[...]** Porto de Galinhas: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), 2015. p. 3269-3280.

SILVA, G. R. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para avaliação do desempenho de uma cadeia de suprimentos multicamadas do ramo de mineração através da adoção da estratégia colaborativa VMI (Vendor Managed**

Inventory). 2010. 218p Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-17082010-124457/>. Acesso em: 01 out. 2022. Acesso em: 22 de nov. de 2021.

SILVEIRA, A. Crescimento do e-commerce na quarentena não é passageiro. **E-commercebrasil**, 2021. Disponível em: <https://www.ecommercebrasil.com.br/artigos/crescimento-do-e-commerce-na-quarentena-nao-e-passageiro>. Acesso em: 30 de nov. de 2021.

SIVIERO, B. L.; DÁVALOS, R. V. Modelagem e Simulação de Uma Cadeia de Suprimentos: Um Estudo de Caso da Produção de Álcool em Gel frente à Pandemia. In: CONBREPPO - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10., 2020, Online. **08192020_190821_5f3da479b2744.pdf**. Online: Associação Paranaense de Engenharia de Produção (Aprepro), 2020. p. 1-11. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/08192020_190821_5f3da479b2744.pdf. Acesso em: 23 jul. 2022.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SRINIVAS, C. Consignment inventory simulation model for single vendor-multi buyers in a supply chain. **International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology**, v. 10, p. 341-349. 2019. DOI: 10.34218/IJARET.10.2.2019.033. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3535558. Acesso em: 17 nov. 2021.

Taniguchi, E. *et al.* **City Logistics: Network Modeling And Intelligent Transport Systems**. Oxford: Elsevier, 2001.

Valadão, F.; Ferreira, R. M. Simulação Multiagente de Uma Economia do Insumo-produto e Estudo de Políticas de Seleção de Fornecedores. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41, 2009. Porto Seguro. **Anais[...]** Porto Seguro. Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), 2009. p. 592-603. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2009/artigos/55950.pdf>. Acesso em: 22 de nov. de 2021

VAZ, C. R.; MALDONADO, M. U. Efeito chicote em redes de logística reversa: um modelo de simulação dinâmica. **Produto & Produção**, v. 18, n.2, p.13-19. 2017. DOI: <https://doi.org/10.22456/1983-8026.60112>. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/view/60112>. Acesso em: 16 de nov. 2021.

VIEIRA, A. A. C. *et al.* Are simulation tools ready for big data? Computational experiments with supply chain models developed in Símio. **Procedia Manufacturing**, v. 42, p. 125-131. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.093>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920306582>. Acesso em: 19 de nov. 2021.

VIEIRA, A. A. C. *et al.* Supply chain risk management: an interactive simulation model in a big data context. **Procedia Manufacturing**, v.42, p.140-145. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920305849>. Acesso em: 16 de nov. 2021.

Vieira, G. E.; Dall'Agnol, W. J. Um Modelo de Simulação para Análise do Planejamento Colaborado Em Cadeias de Suprimento. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 38, 2006, Goiânia. **Anais[...]** Goiânia: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), 2006. p. 1087-1098. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2006/pdf/arq0226.pdf>. Acesso em: 21 de nov. de 2021

WANG, W. *et al.* Hybrid modeling and simulation of automotive supply chain network. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v.6, p.1598-1605. 2013. DOI: 10.19026/rjaset.6.3876. Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/287378954_Hybrid_Modeling_and_Simulation_of_Automotive_Supply_Chain_Network. Acesso em: 17 nov. 2021.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia da pesquisa**. 2 ed. Santa Catarina: UFSC, 2013.

ZHANG, S. *et al.* Location optimization of a competitive distribution center for urban cold chain logistics in terms of low-carbon emissions. **Computers & Industrial Engineering**, v 154, p. 107-120. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107120>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835221000243?via%3Dihub>. Acesso em: 18 mai. 2022.

ZHANG, Y.; WANG, Y.; WU, L. Research on demand-driven leagile supply chain operation model: a simulation based on anylogic in system engineering. **Systems Engineering Procedia**, Beijing, v. 3, p. 249-258, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sepro.2011.11.027>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211381911001809#bibl0005>. Acesso em: 15 de nov. 2021.