



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ALLAN BRUNO DA SILVA ANDRADE

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE INTERRUPÇÕES NO FORNECIMENTO NA
RESILIÊNCIA DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS, UTILIZANDO SIMULAÇÃO**

Caruaru

2022

ALLAN BRUNO DA SILVA ANDRADE

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE INTERRUPÇÕES NO FORNECIMENTO NA
RESILIÊNCIA DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS, UTILIZANDO SIMULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão da Produção.

Orientador: Prof^o. Dr. Osmar Veras Araújo

Caruaru

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Andrade, Allan Bruno da Silva.

Avaliação dos efeitos de interrupções no fornecimento na resiliência de uma cadeia de suprimentos, utilizando simulação / Allan Bruno da Silva Andrade. - Caruaru, 2022.

55 p. : il., tab.

Orientador(a): Osmar Veras Araújo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Engenharia de Produção, 2022.

1. cadeia de suprimentos. 2. resiliência. 3. riscos. 4. interrupções. 5. simulação. I. Araújo, Osmar Veras. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

ALLAN BRUNO DA SILVA ANDRADE

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE INTERRUPÇÕES NO FORNECIMENTO NA
RESILIÊNCIA DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS, UTILIZANDO SIMULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 28/10/2022.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Osmar Veras Araújo (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Walton Pereira Coutinho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Drª. Tatiana Balbi Fraga (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Thalles Vitelli Garcez (Coordenador da Disciplina de TCC)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus sem Ele nada disso seria possível, agradecer por Ele me abençoar tão grandemente, mesmo não merecendo, então muito obrigado Deus, por mais essa conquista em minha vida.

Gostaria de agradecer a toda minha família, minha mãe, meu pai e minhas irmãs, por sempre me apoiarem e acreditarem tanto em mim. Em especial, agradeço aos meus pais pelos incentivos, ensinamentos e todo o exemplo que me deram, elas me moldaram a pessoa que sou hoje. Agradeço também a minha namorada Alana Oliveira e a sua família, por todo apoio nessa jornada, por estar ao meu lado em todos os momentos e me fortalecer tanto. Obrigado por ter me tornado uma pessoa melhor, amo vocês!

Agradeço também a todos os amigos que fiz nessa jornada, sou muito grato a Deus por todas as pessoas que ele colocou em minha vida, muito obrigado por todas as risadas, pelos dias mais leves e por essa jornada divertida, passamos por muitas dificuldades, mas tenho certeza de que sem vocês teria sido muito mais difícil chegar até aqui.

Agradeço aos meus professores, desde o ensino fundamental até a faculdade, se não fosse pela dedicação deles eu não teria chegado até aqui. Em especial, minha mãe, Alda Maria, que foi minha primeira professora e que acompanhou de perto todos os meus passos. Um agradecimento especial também para o professor Osmar Veras, que foi meu orientador durante esse trabalho, e ao professor Rodrigo Lopes, que acreditou na minha ideia e me ajudou no começo do trabalho.

Mais uma vez, meu muito obrigado a cada um que de alguma forma esteve presente nessa jornada, vocês fazem parte dessa conquista, muito obrigado!

RESUMO

O bom funcionamento de uma cadeia de suprimentos envolve diversas variáveis e buscar o equilíbrio dessas variáveis é um dos grandes desafios que os gestores possuem, a fim de garantir o atendimento da demanda em tempo hábil e com um nível de serviço aceitável para o mercado. Apesar de normalmente estarem propensas a diversos riscos, existem alguns deles que não são esperados, como a chegada da pandemia de COVID-19 que impactou fortemente a logística mundial. Este tipo de acontecimento mostra as fragilidades das cadeias de suprimentos, e destaca a necessidade de as empresas buscarem alternativas que aumentem a sua resiliência e sejam capazes de se adaptar e manter o fornecimento, frente às adversidades. Sendo assim, este trabalho traz uma extensa revisão de literatura a respeito da resiliência da cadeia de suprimentos e temas relacionados, além do desenvolvimento de um modelo de simulação, onde são avaliados diferentes cenários e alternativas. Os resultados da simulação são apresentados e discutidos, mostrando insights valiosos para os gestores das empresas a respeito do comportamento da cadeia de suprimentos.

Palavras-chave: cadeia de suprimentos; resiliência; riscos; interrupções; simulação.

ABSTRACT

The proper functioning of a supply chain involves several variables and seeking the balance of these variables is one of the great challenges that managers have, in order to ensure that demand is met in a timely manner and with an acceptable level of service for the market. Although they are usually prone to several risks, there are some of them that are not expected, such as the arrival of the COVID-19 pandemic that has heavily impacted global logistics. This type of event shows the weaknesses of supply chains and highlights the need for companies to seek alternatives that increase their resilience and are able to adapt and maintain supply, in the face of adversity. Therefore, this work brings an extensive literature review about supply chain resilience and related topics, in addition to the development of a simulation model, where different scenarios and alternatives are evaluated. The simulation results are presented and discussed, showing valuable insights for company managers regarding the behavior of the supply chain.

Keywords: supply chain; resilience; risks; interruptions; simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho	24
Figura 2 – Cadeia de suprimentos utilizada no problema	26
Figura 3 – Cadeia de suprimentos desenvolvida no Vensim®	28
Figura 4 – Nível de serviço da loja durante a validação	32
Figura 5 – Lucro total da loja durante a validação	33
Figura 6 – Lucro total da loja considerando as variações da demanda.....	35
Figura 7 – Lucro da loja para com o aumento do estoque	37
Figura 8 – Nível de serviço da loja ao longo do tempo com o aumento do estoque	37
Figura 9 – Estoque da loja ao longo tempo com o aumento do estoque.....	38
Figura 10 – Lucro da loja para a alternativa 2, com restrições de fornecimento	39
Figura 11 – Nível de serviço ao longo do tempo para a alternativa 2.....	40
Figura 12 – Estoque da loja ao longo tempo, para a alternativa 2	40
Figura 13 – Lucro total da loja com o aumento da demanda	42
Figura 14 – Nível de serviço da loja ao longo do tempo com o aumento da demanda ..	43
Figura 15 – Estoque da loja ao longo tempo com o aumento da demanda	43
Figura 16 – Lucro total da loja para um aumento de 50% da demanda.....	45
Figura 17 – Nível de serviço para o aumento de demanda de 50%.....	45
Figura 19 – Lucro da loja para um aumento de 20% da demanda.....	47
Figura 20 – Nível de serviço para um aumento de 20% da demanda.....	47
Figura 21 – Estoque ao longo do tempo para um aumento de 20% da demanda.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo das variáveis que compõe o custo	27
Tabela 2 – Detalhamento das variáveis utilizadas no modelo	28
Tabela 3 – Testes utilizados para validação do modelo	31
Tabela 4 – Ocorrências de falta de estoque da loja durante a validação	32
Tabela 5 – Lucro da loja para o cenário 1, sem variações na demanda	34
Tabela 6 – Redução linear da demanda em resposta ao aumento dos preços	35
Tabela 7 - Desempenho da loja com o aumento do estoque	36
Tabela 8 – Desempenho da loja com o aumento do estoque diante de restrições	39
Tabela 9 – Tempo que a loja consegue manter o lucro para cada alternativa	41
Tabela 10 – Desempenho da loja diante do aumento da demanda	42
Tabela 11 – Desempenho da loja com o aumento de 50% da demanda	44
Tabela 12 – Desempenho da loja com o aumento de 50% da demanda	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	JUSTIFICATIVA	12
3	OBJETIVOS	13
4	REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1	INTERRUPÇÕES NA CADEIA DE SUPRIMENTOS	14
4.2	RESILIÊNCIA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	15
4.3	GERENCIAMENTO DE RISCOS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS	17
4.4	O EFEITO CASCATA	19
4.5	SIMULAÇÃO	20
5	METODOLOGIA.....	23
6	MODELO	26
6.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	26
6.2	DESCRIÇÃO DO MODELO	26
6.3	VALIDAÇÃO DO MODELO.....	31
6.4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	33
6.5	IMPLICAÇÕES GERENCIAIS	48
7	CONCLUSÃO.....	51
<u> </u>	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Todos os dias milhares de profissionais lidam com os problemas logísticos nas empresas, sempre tentando fornecer aos clientes um serviço de qualidade em tempo hábil com o menor custo possível. Porém esta não é uma tarefa simples, diariamente as cadeias de suprimentos estão expostas a inúmeros tipos de riscos (KNEMEYER et al., 2009), que como classificado por Tang (2006), podem ser de dois tipos: operacionais e disruptivos. Os riscos operacionais são aqueles mais comuns, porém possuem menores impactos (KINRA et al., 2019), como incertezas na demanda, incertezas de fornecimento, incertezas no custo, produtos danificados no transporte, ou seja, riscos relacionados com problemas diários das empresas (IVANOV, 2020). Enquanto os riscos disruptivos ocorrem em menor frequência, mas podem provocar maiores prejuízos, podendo ser decorrentes de ações humanas ou de causas naturais, como por exemplo, terremotos, inundações, tsunamis, furacões, pandemias, crises econômicas, ataques terroristas, entre outros (IVANOV, 2020; KNEMEYER et al., 2009; TANG, 2006).

Recentemente o mundo enfrentou a pandemia de COVID-19, que se espalhou rapidamente fazendo milhares de vítimas, provocando impactos negativos em diversos setores da sociedade, e em todo o mundo os países lutaram para lidar com os impactos trazidos pela pandemia (CNN, 2020). Do ponto de vista logístico, a pandemia de COVID-19 foi um evento que colocou a prova a resiliência das cadeias de suprimentos ao redor do mundo. Por se tratar de uma pandemia, o surto de COVID-19 é um caso especial de perturbação da cadeia de suprimentos, como destaca Ivanov (2020), por ser uma interrupção de longo prazo, de natureza imprevisível, com a propagação da interrupção ao longo da cadeia de suprimentos (ou seja, o efeito cascata) e a propagação do surto epidêmico na população, o que provoca interrupções na demanda e na oferta das cadeias de suprimentos.

Por ser um evento tão imprevisível e com baixa probabilidade de ocorrência a grande maioria das empresas não estavam devidamente preparadas para absorver seus impactos, e outro ponto agravante é que atualmente muitas empresas contam com cadeias de suprimentos enxutas, operando com estoques reduzidos, o que torna as empresas ainda mais propensas aos impactos de um evento deste tipo (IVANOV, 2020;

KNEMEYER et al., 2009). Aos poucos a sociedade tenta se reorganizar, mas fica claro que a pandemia de COVID-19 trouxe impactos duradouros sobre os hábitos de consumo e sobre as práticas nas cadeias de suprimentos (NIKOLOPOULOS et al., 2020).

Diante de um cenário como este, as organizações voltam as suas atenções para a importância da resiliência da cadeia de suprimentos, e a necessidade da criação de medidas que tornem as cadeias de suprimentos mais resilientes para evitar novos prejuízos no futuro. Com isso surgem os seguintes questionamentos: Quais as lições que as empresas podem extrair após terem enfrentado a pandemia de COVID-19 a fim de se tornarem mais resilientes no futuro? Quais ações podem ser tomadas para aumentarem a resiliência da cadeia de suprimentos? E é acerca destes questionamentos que o trabalho será desenvolvido, visando fornecer insights valiosos para que os gestores das empresas possam lidar melhor com estes problemas no futuro.

Este trabalho foi construído a partir destes questionamentos e de uma ampla pesquisa bibliográfica, que formaram a base para o desenvolvimento de um experimento mental com o suporte de um software de simulação, onde foram testadas algumas alternativas, a fim de gerar insights valiosos para a tomada de decisão nas organizações. Nas primeiras seções são apresentadas a justificativa e os objetivos do trabalho, em seguida a revisão de literatura a respeito da resiliência da cadeia de suprimentos e temas relacionados. É apresentada a metodologia do trabalho, o desenvolvimento, validação e aplicação do modelo, e por fim os resultados e conclusões obtidas a respeito do trabalho desenvolvido.

2 JUSTIFICATIVA

A COVID-19 fez e continua fazendo milhares de vítimas ao redor do mundo, transformando completamente o estilo de vida com o qual todos estavam acostumados, trazendo impactos em todos os setores da sociedade, da saúde à economia. Em especial a logística sofreu um impacto muito forte em decorrência da pandemia, uma vez que a maioria das empresas não estavam devidamente preparadas para situações deste tipo, onde se fazem necessárias alterações em toda interação ao longo da cadeia de suprimentos, de forma rápida e eficiente, minimizando os impactos da pandemia e conseguindo atender os clientes de forma adequada.

Sendo assim, diante de uma situação como esta, fica nítida a importância do desenvolvimento de cadeias de suprimentos mais resilientes, sendo capazes de se preparar, responder e se recuperar de perturbações e, posteriormente, manter uma operação de estado estável positivo a um custo e tempo aceitáveis (POVOA; RIBEIRO, 2018).

E com todos os desafios trazidos pela pandemia de COVID-19, este tema tem ganhado cada vez mais destaque no meio científico, se mostrando um campo com um grande potencial de exploração. Além disso, sendo o setor logístico tão importante para a sociedade, surge a necessidade de um estudo que possa avaliar os impactos causados por interrupções, como a pandemia de COVID-19, nas cadeias de suprimentos, entendendo como as empresas podem aprender com esta situação e se tornarem mais resilientes para o futuro.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é analisar os efeitos de interrupções na cadeia de suprimentos, fornecendo insights para que os gestores preparem melhor suas empresas e tornem as cadeias de suprimentos mais resilientes no futuro. Com isso, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- Revisar as publicações que relacionam a resiliência da cadeia de suprimentos com grandes perturbações, como a COVID-19;
- Entender e analisar como as empresas podem aprender com o cenário atual para se tornarem mais resilientes para o futuro;
- Utilizando a simulação, produzir alternativas e avaliar os resultados, sugerindo alternativas que podem ser utilizadas pelas empresas diante de grandes interrupções.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 INTERRUPÇÕES NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

As cadeias de suprimentos ao redor do mundo estão sujeitas a inúmeros tipos de riscos (HOSSEINE et al., 2019; KNEMEYER et al., 2009), alguns podem provocar impactos bem maiores que outros, estes são classificados por Tang (2006), como riscos disruptivos, que são caracterizados por possuírem baixa probabilidade de ocorrência, mas podem provocar prejuízos enormes. Desastres naturais, ataques terroristas, falhas humanas, recessão econômica, doenças pandêmicas (BHAMRA et al., 2011), como o mais recente cenário de enfrentamento a pandemia de COVID-19, são todos exemplos de perturbações que afetam negativamente o desempenho da cadeia de suprimentos.

Segundo Craighead et al. (2007), as perturbações da cadeia de suprimentos são eventos imprevisíveis que prejudicam e podem interromper o fluxo normal de bens e materiais na cadeia de suprimentos, expondo as empresas à danos financeiros e operacionais. Assim, essas interrupções na cadeia de suprimentos e os riscos operacionais e financeiros atrelados a estas interrupções, representam uma das principais preocupações enfrentadas pelas companhias no mercado global.

Esses eventos sempre estiveram presentes e sempre impactaram as empresas ao redor do mundo, e nos últimos anos as organizações têm enfrentado grandes desafios devido aos problemas provocados por estes eventos imprevisíveis (CHOWDHURY et al., 2021). Ho et al. (2015) e Ivanov (2020) relatam alguns desses eventos, como o incêndio na fábrica da Phillips em 2000 que levou a Ericsson a uma perda de aproximadamente 400 milhões de dólares, a explosão na fábrica da BASF na Alemanha em 2006 que causou escassez de matéria-prima em várias cadeias de suprimentos do mundo, o terremoto e o tsunami no Japão em 2011 que fez com que a Toyota tivesse uma enorme redução nos seus lucros, a inundação na Tailândia em 2011 que impactou fortemente companhias automobilísticas, as pandemias de Gripe suína, SARS e Ebola nos últimos anos, que tiveram impactos em algumas regiões do mundo. Esses exemplos mostram como o impacto de uma perturbação pode se alongar através da cadeia de suprimentos como um todo, causando muitas vezes prejuízos milionários.

Ivanov (2020), afirma que os impactos da pandemia de SARS em 2002, foram relativamente baixos devido ao menor grau de globalização da época, quando comparados com os impactos da pandemia de COVID-19. E com o crescente aumento da globalização, as empresas ficam cada vez mais dependentes umas das outras, e consequentemente mais propensas a sofrerem interrupções deste tipo e cada vez maiores serão os impactos causados. É por isso que a pandemia de COVID-19 tem causado um impacto tão forte, reduzindo a eficiência e a performance de todas as partes envolvidas nas cadeias de suprimentos ao mesmo tempo, algo nunca visto antes em outros surtos epidêmicos (CHOWDHURY et al., 2021).

Chowdhury et al. (2021), destaca alguns dos desafios enfrentados pelas organizações em tempos de pandemia, como o fechamento de fronteiras, escassez de mão de obra, a necessidade da manutenção de distância física entre os colaboradores, entre outros. Estes desafios para manter as operações, trazem um impacto ainda mais severo para as empresas, prejudicando muito o comércio e a distribuição em geral.

4.2 RESILIÊNCIA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

De acordo com Povia e Ribeiro (2018), foi nesse contexto de mudança, onde a cadeia de suprimentos estava mais exposta a interrupções que o conceito de resiliência na cadeia de suprimentos surgiu. Resiliência é um conceito explorado em diversas áreas do conhecimento (HOLCOMB; PONOMAROV, 2009; HOSSEINI et al., 2019; LEVALLE; NOF, 2017; TORABI et al, 2015), como pode ser visto no estudo desenvolvido por Bhamra et al. (2011), onde são mostradas diferentes definições de resiliência em diferentes campos de estudo. Em especial, neste trabalho voltamos nossa atenção para a resiliência na cadeia de suprimentos. É possível encontrar estudos, como o de Levalle e Nof (2017), Ribeiro e Povia (2018), que apresentam e classificam diversas definições da resiliência na cadeia de suprimentos.

Christopher e Peck (2004), definiram a resiliência da cadeia de suprimentos como a habilidade de um sistema voltar ao seu estado original ou se adaptar após enfrentar uma interrupção. Para Holcomb e Ponomarov (2009) a resiliência da cadeia de suprimentos é a sua capacidade de se preparar, responder e se recuperar de eventos

inesperados, mantendo as operações no nível desejado. Em estudos mais recentes, Hosseini et al. (2019), definiram uma cadeia de suprimentos resiliente como aquela que é capaz de suportar, se adaptar, e se recuperar de interrupções, para garantir o atendimento das necessidades do cliente e garantir o seu desempenho. Povia e Ribeiro (2018), por sua vez definem uma cadeia de suprimentos resiliente como aquela que deve ser capaz de se preparar, responder e se recuperar de perturbações, retornando a um estado estável em tempo hábil, com custo aceitável. É possível notar que em geral os autores se complementam, e as definições convergem em uma mesma direção.

Dolgui e Ivanov (2019) afirmam que uma cadeia de suprimentos precisa ser estável, robusta e resiliente, para garantir a execução de suas atividades e ser capaz de suportar as interrupções que poderão surgir. Levalle e Nof (2017), ressaltam a importância de analisar e diferenciar robustez e resiliência, para Dolgui e Ivanov (2019) uma cadeia de suprimentos robusta é capaz de absorver perturbações e continuar em operação com mínimos impactos no seu desempenho. E Levalle e Nof (2017) afirmam que robustez é a habilidade de uma empresa, ou cadeia de suprimentos lidar com as perturbações mantendo a sua forma, mas sem sofrer nenhuma alteração na sua estrutura. Enquanto a resiliência engloba o conceito de robustez, de forma que uma cadeia de suprimentos resiliente é capaz de fazer uma transição entre projetos robustos, para antecipar, preparar e superar interrupções.

Diante das definições apresentadas, como afirma Povia e Ribeiro (2018) fica nítido o papel da resiliência da cadeia de suprimentos como fator chave para a criação e manutenção de vantagens competitivas dentro da cadeia, tornando possível o fornecimento de produtos com maior rapidez, impactando positivamente a satisfação dos clientes. Assim, é importante que as empresas busquem formas de aumentar a resiliência nas cadeias de suprimentos.

Sheffi (2005) afirmou que as empresas podem desenvolver a resiliência de três formas: criando redundâncias na cadeia de suprimentos, aumentando a flexibilidade da cadeia de suprimentos, ou mudando a cultura corporativa. Tang (2006), reúne em seu estudo algumas estratégias que podem tornar a cadeia de suprimentos mais resiliente. Ele destacou que a estratégia mais comum é a de múltiplos fornecedores, onde alguns autores vão além e recomendam também espalhar esses fornecedores em diferentes

países, porém nem sempre está é uma estratégia viável, seja pelo custo ou pela falta de fornecedores no mercado. Outras estratégias utilizadas são: contratos de compartilhamento de receita, o deslocamento da demanda entre os produtos, uma estratégia de preços eficiente, entre outras. Torabi et al. (2015) apresenta também alternativas como: manter fornecedores de backup, que são acionados quando os fornecedores principais sofrem com alguma perturbação, a fortificação de fornecedores que consiste em adotar medidas que protejam instalações dos fornecedores de possíveis problemas (por exemplo, construção de barreiras contra inundações).

Um aspecto importante a ser considerado é o *trade-off* entre o custo e a resiliência da cadeia de suprimentos, uma vez que aumentando a resiliência é importante acompanhar de perto o custo e mantê-lo sempre em um nível razoável (POVOA; RIBEIRO, 2018; SADGHIANI et al., 2015). O custo e as perdas provocadas pelos eventos disruptivos podem ser altos, provocando redução nas receitas, aumento do lead time, redução do nível de satisfação dos clientes, e ainda o custo para recuperação da cadeia de suprimentos é muito alto (IVANOV, et al. 2014).

Torabi et al. (2015), ressaltou que mantendo fornecedores únicos a empresa terá menores custos, porém diante da ocorrência de perturbações os prejuízos poderão ser maiores do que quando comparado com o caso de múltiplos fornecedores. Existem também trabalhos como o proposto por Berger et al. (2004), onde os autores utilizaram árvores de decisão para identificar o número adequado de fornecedores, diante de algumas perturbações, com o objetivo de minimizar a função custo.

4.3 GERENCIAMENTO DE RISCOS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Segundo Holcomb e Ponomarov (2009), toda atividade dentro da cadeia de suprimentos possui um risco inerente de sofrer algum tipo de interrupção inesperada, onde o risco da cadeia de suprimentos pode ser definido como qualquer risco para as informações, materiais e fluxo de produtos dos fornecedores até a entrega do produto aos clientes. Para Ho et al. (2015), o risco na cadeia de suprimentos é a probabilidade de eventos inesperados influenciarem negativamente qualquer parte da cadeia de suprimentos, acarretando problemas ou falhas em qualquer nível organizacional.

Para Chopra e Sodhi (2004), mitigar os riscos dimensionando e posicionando de forma inteligente as ações da cadeia de suprimentos sem reduzir os lucros da companhia é o grande desafio dos gestores da cadeia de suprimentos. E para isso é necessária uma boa compreensão destes riscos, que foram classificados por Chopra e Sodhi (2004), abaixo estão as principais categorias:

- Perturbações na cadeia de suprimentos, são eventos com baixa frequência e imprevisíveis, mas em sua maioria tem impactos fortes e duradouros, por exemplo, desastres naturais e greves trabalhistas.
- Atrasos, ocorrem quando algum dos fornecedores devido à falta de capacidade ou algum problema não conseguem atender a demanda;
- Previsões incompatíveis, as previsões são fundamentais para que a empresa se prepare para os cenários futuros, porém uma projeção pouco assertiva pode ser muito perigosa para a empresa, podendo levar a estoques excessivos ou a escassez de produtos para o atendimento da demanda;
- Aquisições, aumentos em impostos e taxas cambiais ocorrem frequentemente e é importante estar atento a essas variações;
- Excesso de estoque, assim como a falta de estoque o excesso também é prejudicial para a empresa, aumentando seus custos;
- Capacidade, é importante monitorar a capacidade, o seu excesso pode ser uma decisão estratégica, mas que impacta diretamente nos custos da empresa.

E para lidar com estes riscos, surgiu uma nova área de pesquisa, o gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos. Segundo, Ho et al. (2015), o gerenciamento de risco na cadeia de suprimentos pode ser definido como: um esforço colaborativo entre organizações utilizando metodologias de gestão de risco para identificar, avaliar, mitigar e monitorar eventos ou condições inesperadas de todos os níveis, que podem impactar negativamente qualquer parte da cadeia de suprimentos. Outra definição é dada por Holcomb e Ponomarov (2009), onde o gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos é a identificação de fontes potenciais de risco e a implementação de medidas por meio de uma abordagem coordenada entre os membros da cadeia de suprimentos com o objetivo de reduzir a vulnerabilidade da cadeia de suprimentos.

O gerenciamento de riscos está exposto à vários desafios e é necessário que as empresas estejam cientes dos riscos aos quais estão expostas (POVOA; RIBEIRO, 2018), atualmente as companhias estão cada vez mais imersas em um ambiente dinâmico e isso implica na necessidade da contínua avaliação e análise dos riscos (HOLCOMB; PONOMAROV, 2009). Com o aumento da incidência de perturbações que têm afetado as empresas nos últimos anos, desastres naturais, pandemias, ataques terroristas, e outras importantes tendências, como a globalização e a transição para operações mais enxutas (HO et al., 2015; SODHI et al., 2012), têm aumentado a preocupação com o gerenciamento dos riscos na cadeia de suprimentos (HOLCOMB; PONOMAROV, 2009; TORABI et al., 2015).

4.4 O EFEITO CASCATA

Um dos grandes desafios do gerenciamento da cadeia de suprimentos é o controle do conhecido efeito cascata, que é a propagação dos impactos de uma perturbação ao longo da cadeia de suprimentos, afetando a sua performance e podendo provocar efeitos fortes e duradouros, tais como, redução das vendas, aumento do lead time, redução das receitas e redução da produtividade (CARNOVALE; GARVEY, 2020; DOLGUI; IVANOV, 2019; HOSSEINI; IVANOV, 2020; IVANOV, 2017; IVANOV, 2020a). Além disso, é caracterizado por ter uma baixa frequência de ocorrência, por causa disso a tarefa de avaliar esses eventos é ainda mais difícil (IVANOV, 2017; KINRA et al., 2019). Um exemplo é citado por Ivanov (2017), quando em decorrência dos impactos do tsunami e do terremoto de 2011 que provocou a falta de matéria prima e consequentemente quedas de produção de grandes montadoras, a Toyota perdeu sua posição de líder do mercado, outro exemplo citado por Kinra et al. (2019), são as fortes enchentes na Tailândia, que fizeram fábricas interromperem as suas operações reduzindo consideravelmente as suas receitas. E como aconteceu com a pandemia de COVID-19 que teve início na Ásia e foi se espalhando pelo mundo impactando negativamente vários escalões das cadeias de suprimentos ao redor do mundo (IVANOV, 2020b).

No caso de eventos disruptivos, como o da pandemia de COVID-19, um dos fatores característicos é justamente a possibilidade de ocorrência do efeito cascata, como

ressaltou Ivanov (2020a), que cita os exemplos da Fiat que interrompeu temporariamente o funcionamento de uma fábrica na Sérvia porque não conseguia obter as peças da China, e o caso muito similar da Hyundai que também suspendeu o funcionamento de uma fábrica devido a problemas no fornecimento de peças vindas de áreas afetadas pela pandemia na China. Kinra et al. (2019) destaca que é uma tarefa difícil avaliar o nível de exposição que uma empresa está do efeito cascata, porque envolve a estimativa de muitos fatores e a literatura ainda não especifica um modelo abrangente que consiga medir com precisão a magnitude do efeito cascata. Uma alternativa é mostrada no estudo desenvolvido por Ivanov (2017), onde ele revisa e mostra vários outros trabalhos que utilizaram a simulação como uma forma para investigar e avaliar os impactos produzidos pelo efeito cascata.

De acordo com Ivanov e Dolgui (2019), a forma como o efeito cascata impactará as empresas ao longo da cadeia de suprimentos depende das redundâncias presentes ao longo da cadeia (por exemplo: estoque de segurança, fornecedores de backup, entre outros), isso mostra a importância da construção de uma cadeia de suprimentos resiliente e a necessidade de que o risco e a resiliência sejam levados em consideração no planejamento da cadeia.

4.5 SIMULAÇÃO

A simulação é uma ferramenta que possibilita a análise do comportamento de um modelo, que representa alguma situação real de forma simplificada, e através da variação de parâmetros são avaliadas as implicações de diferentes cenários (CORREA; DIAS, 1998; SANTOS, 1992). Por isso a simulação é uma ferramenta amplamente empregada em diversas áreas do conhecimento para o estudo de diferentes tipos de problema, fornecendo a base para uma tomada de decisão mais assertiva, auxiliando no planejamento estratégico e operacional, avaliação de riscos, monitoramento de resultados, redução de custos, entre outros (FRIGERI et al., 2007). Como defende Ivanov (2017), para problemas complexos com mudanças no comportamento do sistema ao longo do tempo, a simulação é uma ferramenta muito importante e mais poderosa do que outros tipos de análise. E no estudo do comportamento das cadeias de suprimento,

Carvalho et al. (2012) afirma que a simulação permite que a performance da cadeia de suprimentos seja avaliada sob diferentes óticas, testando hipóteses e avaliando riscos a fim de melhorar a resiliência de toda a cadeia.

Segundo Rivero (2004) a simulação permite aos usuários simplificar a complexidade de sistemas logísticos dinâmicos, fornecendo um método de análise capaz de avaliar com precisão o desempenho desses sistemas. Ivanov (2020a) afirma que modelos de simulação são reconhecidos na literatura como uma ferramenta adequada para analisar e prever os comportamentos da cadeia de suprimentos ao longo do tempo. Chilmon e Tipi (2020), Dixit et al. (2020), Falasca et al. (2008) e Saghigiani et al. (2015), citam diversos estudos que utilizaram a simulação como metodologia para estudar, avaliar e quantificar a performance e o comportamento da cadeia de suprimentos a fim de melhorar a sua resiliência. Falasca et al. (2008) ressaltou que a simulação, no contexto da cadeia de suprimentos, pode capturar e modelar a incerteza, permitindo uma boa representação do risco e da resposta da cadeia de suprimentos diante de eventos disruptivos.

Como defende Chilmon e Tipi (2020) a simulação é considerado um dos melhores métodos para modelar sistemas complexos, onde citam várias aplicações em diferentes áreas do conhecimento. Além disso, ressaltam os principais benefícios que o uso da simulação proporciona, para a avaliação de cadeias de suprimentos complexas:

- A possibilidade de considerar muitos elementos de um sistema complexo dentro do modelo;
- Analisar o comportamento de um sistema dinâmico, por meio da variação de parâmetros;
- A combinação de aspectos relativos das cadeias de suprimentos, bem como aspectos do gerenciamento da cadeia de suprimentos;
- Em geral o custo para utilização de ferramentas de simulação é considerado baixo diante dos benefícios trazidos;
- A integração do conhecimento de diferentes áreas do conhecimento.

Mas também existem algumas limitações, a depender da complexidade do problema pode ser muito difícil de modelar levando muito tempo no seu desenvolvimento,

o modelo pode exigir um esforço computacional muito grande, bem como a necessidade de maior investimento (FRIGERI et al., 2007).

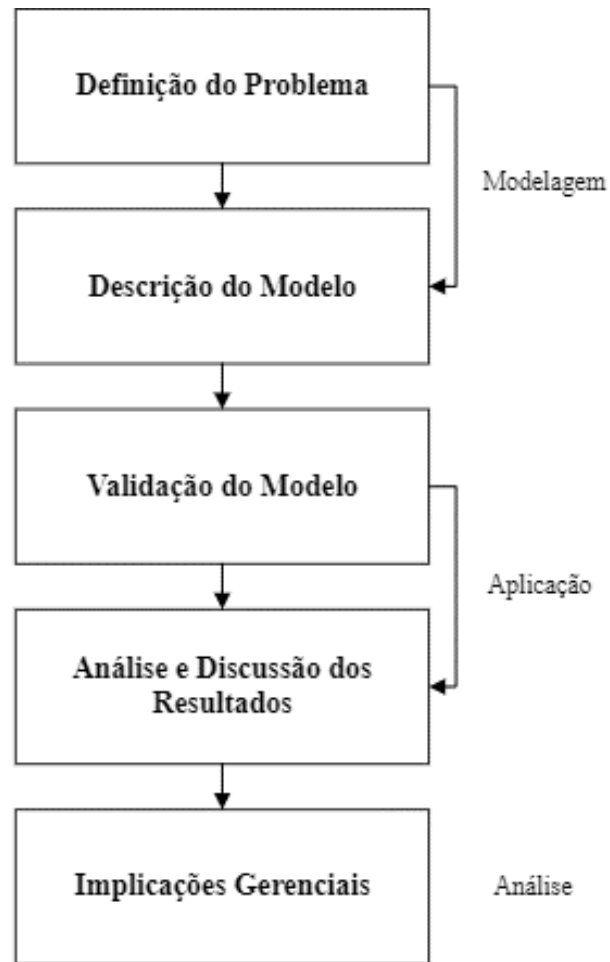
5 METODOLOGIA

Segundo Gerhardt (2007), a pesquisa é um procedimento racional e sistemático a fim de solucionar problemas propostos, ela é desenvolvida através de fases que vão da definição do problema até a discussão dos resultados. Por sua vez a metodologia é o estudo da organização, dos caminhos e meios que serão utilizados para que a pesquisa alcance o resultado proposto.

A pesquisa desenvolvida é uma pesquisa exploratória de caráter quantitativo, que foi realizada acerca do gerenciamento da resiliência na cadeia de suprimentos. No estudo foi utilizado uma cadeia de suprimentos fictícia a fim de representar uma situação real, para a partir dessa simplificação obter recomendações valiosas para o processo de tomada de decisão.

O desenvolvimento do estudo contou com a utilização dos softwares Vensim® PLE 8.1.0, para a construção do modelo, Microsoft Excel®, durante a análise dos resultados, e Microsoft Word®, para documentação do estudo. Utilizando como base os artigos utilizados na pesquisa bibliográfica e debatidos na seção anterior, a metodologia utilizada foi definida em cinco passos descritos a seguir.

Figura 1 – Metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho



Fonte: O Autor (2022).

Definição do Problema: O primeiro passo foi a definição do problema, que surgiu do cenário atual que estávamos vivenciando durante a pandemia de COVID-19, juntamente com a pesquisa bibliográfica a respeito do tema.

Descrição do modelo: Então foi feita a modelagem da situação real que seria estudada, definido o tamanho da cadeia utilizada no modelo, os parâmetros e as variáveis a serem analisadas. O modelo foi elaborado com o auxílio do software Vensim® PLE 8.1.0, onde foi construída a cadeia de suprimentos, as condições iniciais foram definidas e as variáveis receberam os seus respectivos valores.

Validação do modelo: Após a construção do modelo, a simulação foi executada várias vezes variando alguns dos parâmetros, e a partir dos resultados o comportamento do sistema foi analisado, e após os ajustes necessários o modelo foi validado.

Análise e discussão dos resultados: Foram definidos diferentes cenários e alternativas que podem ser adotadas pelas empresas na situação real e os resultados das simulações foram obtidos. Os resultados das simulações foram analisados com o intuito de entender os benefícios de cada alternativa, e a influência de cada uma delas sobre o comportamento do sistema.

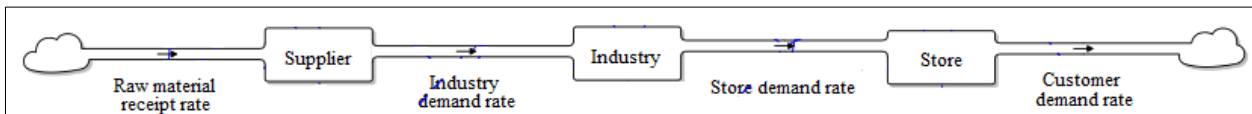
Implicações gerenciais: A partir da análise dos resultados foram apontadas as implicações do ponto de vista gerencial, ou seja, foram feitas as recomendações que servirão de base para que a tomada de decisão seja mais assertiva, levando em consideração para que tipo de empresa cada alternativa melhor se adequará.

6 MODELO

6.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O modelo desenvolvido representa uma cadeia de suprimentos de três escalões, com um fornecedor de matéria-prima, uma fábrica onde a matéria-prima é transformada no produto principal, e uma loja onde os produtos são vendidos ao cliente final. Toda a cadeia está sujeita à demanda variável, e todos os agentes envolvidos possuem diferentes custos fixos e variáveis. A partir desse cenário, será analisado o desempenho financeiro da cadeia de suprimentos, através da análise dos custos, receitas e lucro, além disso serão monitoradas as ocorrências de falta de estoque e o nível de serviço de cada agente ao longo da cadeia de suprimentos. O modelo foi desenvolvido utilizando o Vensim® PLE 8.1.0, um software de simulação que é utilizado para desenvolvimento e análise de processos industriais. Sendo assim, foi construída uma rede de suprimentos simplificada, respeitando as limitações de processamento, como mostrado abaixo na figura 2. A principal limitação do trabalho é que o modelo desenvolvido representa uma cadeia de suprimentos fictícia, e os dados utilizados na simulação não são reais.

Figura 2 – Cadeia de suprimentos utilizada no problema



Fonte: O Autor (2022).

6.2 DESCRIÇÃO DO MODELO

Como citado anteriormente o modelo irá possibilitar a análise do desempenho da cadeia de suprimentos em termos financeiros, as ocorrências de falta de estoque e o nível de serviço de cada agente envolvido no sistema. Após a construção da estrutura inicial, foi feita a definição das demais variáveis necessárias para as análises de custo, de estoque e de nível de serviço.

Para a análise financeira da cadeia de suprimentos a primeira variável estudada foi o custo. Onde para cada um dos integrantes da cadeia de suprimentos o custo foi calculado conforme a equação 1.

$$CT = CF + CP + CE + CD_n \quad (1)$$

onde:

CT = Custo total;

CF = Custos fixos de cada membro da cadeia de suprimentos;

CP = Custo do pedido;

CE = Custo de manter os itens em estoque;

CD_n = Custo de não atender a demanda solicitada;

Para cada uma das variáveis o cálculo feito é mostrado na tabela 1:

Tabela 1 – Cálculo das variáveis que compõe o custo

Variável	Cálculo
Custo do pedido	$CP = (\text{preço unitário} \times \text{quantidade}) + \text{custo de transporte}$
Custo de estoque	$CE = \text{custo de manter em estoque} \times \text{quantidade}$
Custo de não atender a demanda	$CD_n = \text{custo de oportunidade} \times \text{quantidade não atendida}$

Fonte: O Autor (2022).

Em seguida, é calculada a receita obtida por cada membro da cadeia de suprimentos, a partir da equação 2.

$$R = \text{preço de venda} \times \text{quantidade} \quad (2)$$

Com os valores do custo e da receita, podemos calcular o lucro obtido por cada membro da cadeia de suprimentos para cada um dos cenários avaliados no trabalho, conforme a equação 3.

$$\text{Lucro} = \text{Receita} - \text{Custo} \quad (3)$$

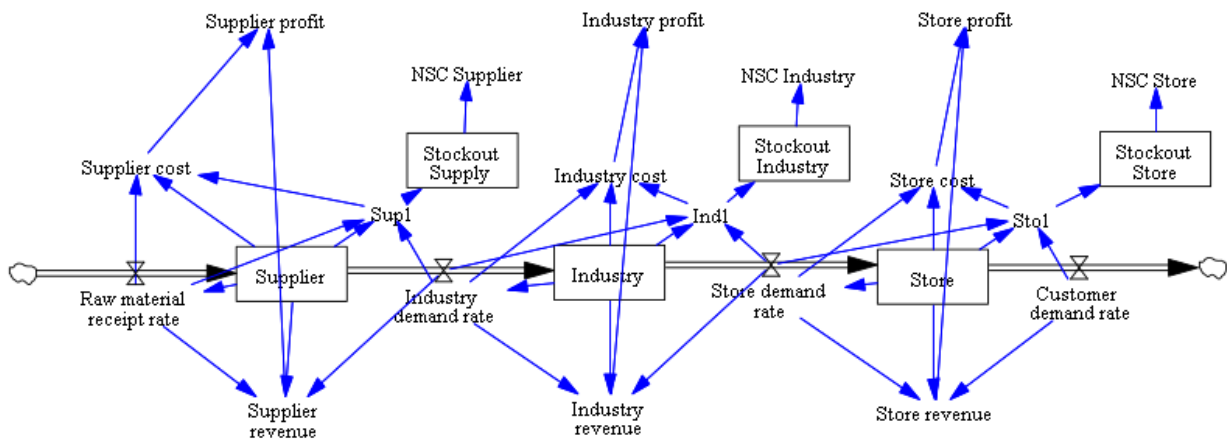
O nível de serviço é um outro indicador muito importante quando estamos estudando uma cadeia de suprimentos, ele representa a capacidade de um fornecedor fornecer aos seus clientes os produtos ou serviços corretos dentro do período solicitado (BALLOU, 2006). O nível de serviço pode ser calculado como o número de pedidos

atendidos dentro do período solicitado sobre o número total de pedidos, como descrito na equação 4.

$$\text{Nível de serviço} = \frac{\text{número de pedidos atendidos dentro do prazo}}{\text{número total de pedidos}} \quad (4)$$

No modelo foi necessário criar algumas variáveis auxiliares para possibilitar o cálculo do nível de serviço para cada membro da cadeia, com isso para cada cenário é possível obter o nível de serviço e avaliar as alterações. Abaixo na figura 3, temos a estrutura da cadeia de suprimentos completa com todos os relacionamentos, desenvolvida no Vensim®, e em seguida, na tabela 2, a descrição de todas as variáveis, com as equações e parâmetros iniciais, utilizados no modelo.

Figura 3 – Cadeia de suprimentos desenvolvida no Vensim®



Fonte: O Autor (2022).

Tabela 2 – Detalhamento das variáveis utilizadas no modelo

Variável	Função	Definição
Supplier	Armazena o número de itens em estoque no primeiro escalão da CS. Valor inicial = 300 unidades.	IF THEN ELSE(((Supplier+Raw material receipt rate)<Industry demand rate), -Supplier, Raw material receipt rate-Industry demand rate)
Industry	Armazena o número de itens em estoque no primeiro escalão da CS. Valor inicial = 300 unidades.	IF THEN ELSE(((Industry+Industry demand rate)<Store demand rate), -Industry, (Industry demand rate-Store demand rate))

Store	Armazena o número de itens em estoque no primeiro escalão da CS. Valor inicial = 50 unidades.	IF THEN ELSE(((Store+Store demand rate)<Customer demand rate), -Store, (Store demand rate-Customer demand rate))
Raw material receipt rate	Representa a demanda de matéria-prima do fornecedor, onde o fornecedor só solicita mais matéria-prima se o estoque atual foi menor ou igual a 300 unidades.	IF THEN ELSE(Supplier<=300, (INTEGER(RANDOM NORMAL(300, 500 , 300, 50, 1))), 0)
Industry demand rate	Representa a demanda de material da indústria, onde a indústria só solicita mais material se o estoque atual foi menor ou igual a 300 unidades.	IF THEN ELSE(Industry<=300, (INTEGER(RANDOM NORMAL(250, 500 , 300, 50, 1))), 0)
Store demand rate	Representa a demanda de produtos da loja, onde a loja só solicita mais produtos se o estoque atual foi menor ou igual a 300 unidades.	IF THEN ELSE(Store<=300, (INTEGER(RANDOM NORMAL(200, 450, 300, 50, 1))), 0)
Customer demand rate	Distribuição probabilística que representa a demanda dos clientes.	INTEGER(RANDOM NORMAL(100, 400 , 300 , 100, 1))
Supplier cost	Calcula o custo para o fornecedor.	1000+((Raw material receipt rate*7)+50)+(Supplier*1)+(Sup1*1)
Industry cost	Calcula o custo para a indústria.	700+((Industry demand rate*15)+100)+(Industry*1.5)+(Ind1*3)
Store cost	Calcula o custo para a loja.	200+((Store demand rate*22)+150)+(Store*2)+(Sto1*5)
Supplier revenue	Calcula a receita obtida pelo fornecedor.	IF THEN ELSE(Industry demand rate<(Supplier+Raw material receipt rate), Industry demand rate*15, (IF THEN ELSE(Supplier=0, Raw material

		receipt rate*15, (Supplier+Raw material receipt rate)*15)))
Industry revenue	Calcula a receita obtida pela indústria.	IF THEN ELSE(Store demand rate<(Industry+Industry demand rate), Store demand rate*22, (IF THEN ELSE(Industry=0, Industry demand rate*22, (Industry+Industry demand rate)*22)))
Store revenue	Calcula a receita obtida pela loja.	IF THEN ELSE(Customer demand rate<(Store+Store demand rate), Customer demand rate*27, (IF THEN ELSE(Store=0, Store demand rate*27, (Store+Store demand rate)*27)))
Supplier profit	Calcula o lucro obtido pelo fornecedor.	Supplier revenue-Supplier cost
Industry profit	Calcula o lucro obtido pela indústria.	Industry revenue-Industry cost
Store profit	Calcula o lucro obtido pela loja.	Store revenue-Store cost
Stockout supplier	Armazena o número de ocorrências de falta de estoque no fornecedor. Valor inicial = 0.	(IF THEN ELSE(Sup1<>0, 1, 0))
Stockout industry	Armazena o número de ocorrências de falta de estoque na indústria. Valor inicial = 0.	(IF THEN ELSE(Ind1<>0, 1, 0))
Stockout store	Armazena o número de ocorrências de falta de estoque na loja. Valor inicial = 0.	(IF THEN ELSE(Sto1<>0, 1, 0))
NSC Supplier	Faz o cálculo do nível de serviço do fornecedor.	(52-Stockout Supplier)/52

NSC Industry	Faz o cálculo do nível de serviço da indústria.	(52-Stockout Industry)/52
NSC Store	Faz o cálculo do nível de serviço da loja.	(52-Stockout Store)/52
Demais variáveis	Variáveis auxiliares.	Apoio para o cálculo das demais variáveis.

Fonte: O Autor (2022).

6.3 VALIDAÇÃO DO MODELO

Antes da utilização do modelo para avaliação das implicações sofridas pela cadeia de suprimentos frente as adversidades que uma interrupção pode causar, foi necessário realizar a validação do modelo. Segundo Thacker et al. (2004), a validação busca avaliar o grau em que um modelo é uma representação precisa da realidade. E segundo Sornette et al. (2005), a validação é uma etapa crucial, pois cada vez mais as organizações dependem de previsões de modelos computacionais para embasar o processo de tomada de decisão.

Essa validação, por sua vez, tem como objetivo avaliar o funcionamento do modelo, quando os seus principais parâmetros são alterados. Neste caso, o principal parâmetro do modelo é a demanda, então para verificar o comportamento do modelo a variável *Customer demand rate* sofreu uma série de variações (+10%, +20%, -10%, -20%), e para cada variação o modelo foi executado e os resultados obtidos como descrito a seguir na tabela 3.

Tabela 3 – Testes utilizados para validação do modelo

Cenário	Variação da demanda
Base	Sem variação
Teste 1	Aumento de 10%
Teste 2	Aumento de 20%
Teste 3	Redução de 10%
Teste 4	Redução de 20%

Fonte: O Autor (2022).

Para o nível de serviço, o comportamento esperado do modelo é que com o aumento da demanda o nível de serviço seja reduzido, uma vez que com a maior demanda a loja deixará de atender mais clientes. Enquanto com a redução da demanda,

o nível de serviço aumentará, uma vez que a loja terá maior probabilidade de atender uma menor demanda. Primeiro, na tabela 4 temos a quantidade de ocorrências de falta de estoque, onde é esperado que com o aumento da demanda o número de ocorrências aumente, uma vez que uma maior demanda implica na escassez dos produtos, e este é exatamente o comportamento observado.

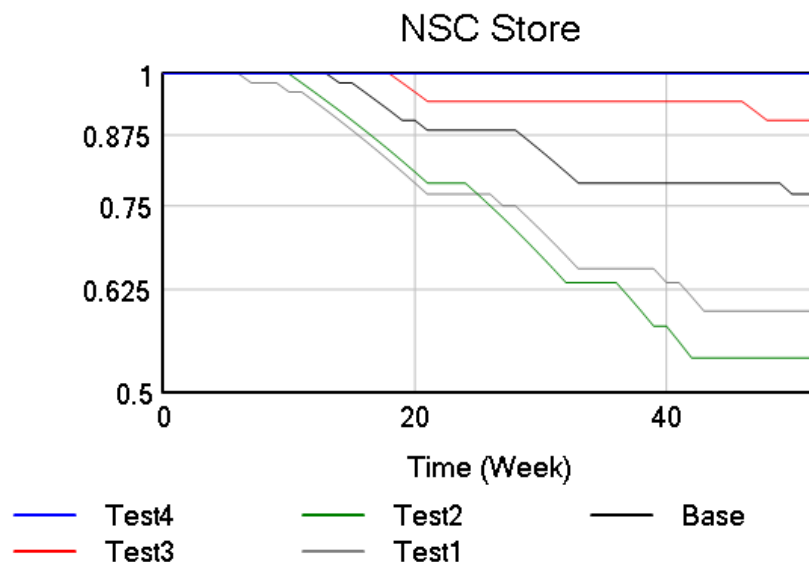
Tabela 4 – Ocorrências de falta de estoque da loja durante a validação

Cenário	Falta de estoque
Base	12
Teste 1	21
Teste 2	24
Teste 3	5
Teste 4	0

Fonte: O Autor (2022).

Em seguida analisando os resultados do nível de serviço da loja, como podemos ver na figura 4, quando a demanda aumenta (Teste 1 e Teste 2) as curvas do nível de serviço ficam abaixo da curva do cenário base, e quando a demanda é reduzida (Teste 3 e Teste 4) ficam acima do cenário base, se comportando exatamente como esperado. É importante ressaltar que para a redução de 20% da demanda, não ocorre falta de estoque em nenhuma das 52 semanas, por isso a curva do nível de serviço é constante em 100%.

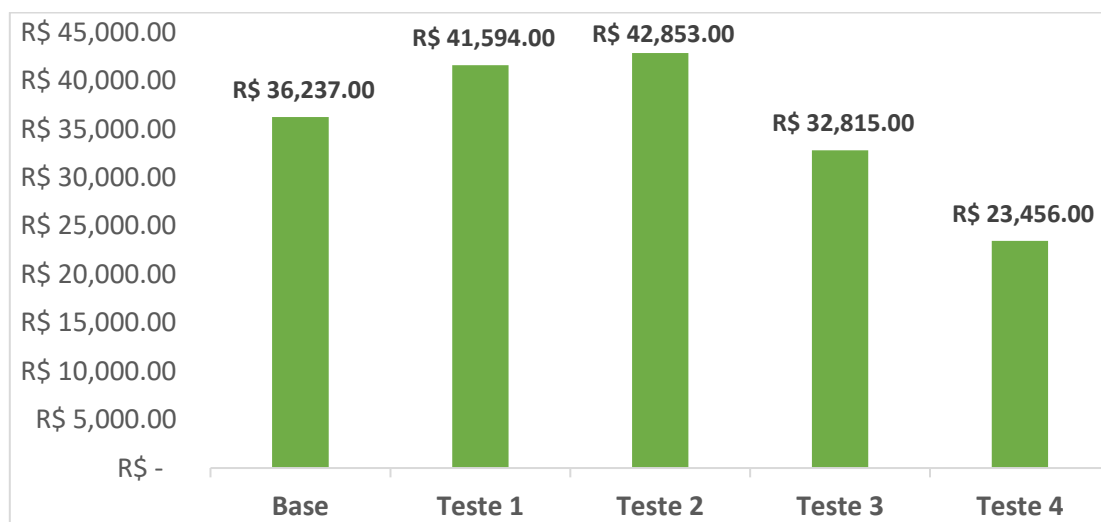
Figura 4 – Nível de serviço da loja durante a validação



Fonte: O Autor (2022).

Para o lucro, é esperado uma relação em que o aumento da demanda deve provocar um aumento dos lucros, e a redução da demanda provocará a redução dos lucros. Os resultados na figura 5, comprovam que o modelo mais uma vez segue o comportamento esperado, para o Teste 1 e Teste 2 o lucro aumenta, e para o Teste 3 e Teste 4 o lucro diminui.

Figura 5 – Lucro total da loja durante a validação



Fonte: O Autor (2022).

Como observado nos resultados mostrados anteriormente, o modelo apresenta resultados satisfatórios, dentro do comportamento esperado quando submetido às variações da demanda, com isso justificando a sua utilização para as análises seguintes.

6.4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a demanda foram utilizados dados aleatórios, e todas as taxas foram modeladas pela função normal, a unidade de tempo utilizada foi a semana e o tempo total de cada simulação é de 52 semanas, totalizando um ano. Será observado o desempenho da loja, uma vez que é o agente da cadeia que está em contato direto com o consumidor final, e é o escalão da cadeia de suprimentos que sofre mais com as oscilações do mercado. Para a simulação foram avaliados os cenários e alternativas a seguir:

Cenário base, onde os parâmetros utilizados representam as condições normais de funcionamento da cadeia de suprimentos, sem o efeito de nenhum tipo de perturbação. É a partir da comparação com o cenário base que será observado o comportamento do sistema diante das perturbações.

Cenário 1, a empresa opta por buscar um fornecedor alternativo, que possa absorver a demanda em momentos de adversidade, porém isto acarretará maiores custos logísticos. Considerando um aumento de 50% dos custos logísticos, podemos observar pelos resultados, que a empresa não teria condições de absorver esse aumento no custo sem repassá-lo para o consumidor final, então a primeira decisão a ser tomada pela organização, é repassar em parte o aumento de custos para o consumidor final, esperando que a demanda seja mantida. Como podemos observar na tabela 5, a empresa não teria tanta flexibilidade para absorver este aumento no custo, sem ficar no prejuízo, sendo necessário repassar esse aumento para o consumidor final.

Tabela 5 – Lucro da loja para o cenário 1, sem variações na demanda

Cenários	Preço de venda	Lucro total da loja
Base	R\$ 27,00	R\$ 36,237.00
Alternativa 1	R\$ 27,00	-R\$ 129,161.00
Alternativa 2	R\$ 38,00	R\$ 27,391.00
Alternativa 3	R\$ 37,00	R\$ 13,159.00
Alternativa 4	R\$ 36,00	-R\$ 1,073.00
Alternativa 5	R\$ 35,00	-R\$ 15,305.00

Fonte: O Autor (2022).

Sendo assim, teria que optar entre repassar todo o aumento de custos para o cliente final, mantendo a margem de lucro, ou reduzir a sua margem de lucro e absorver parte do aumento dos custos.

Analisando sobre uma outra perspectiva, onde em resposta ao aumento de preços a demanda vai sendo reduzida linearmente, conforme descrito na tabela 6.

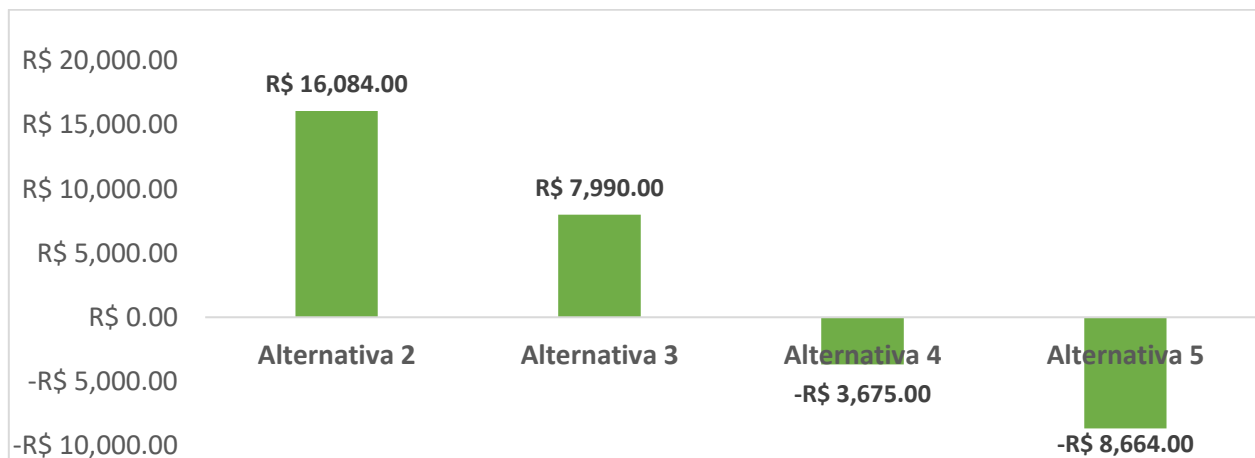
Tabela 6 – Redução linear da demanda em resposta ao aumento dos preços

Alternativas	Preço de venda	Variação da demanda
Alternativa 5	R\$ 35,00	-5%
Alternativa 4	R\$ 36,00	-10%
Alternativa 3	R\$ 37,00	-15%
Alternativa 2	R\$ 38,00	-20%

Fonte: O Autor (2022).

Na figura 6, temos o lucro total da loja para cada alternativa conforme descrito na tabela 7, e com a resposta da demanda ao aumento dos preços, o lucro da loja reduz consideravelmente, e para as alternativas 2 e 3, com a redução da demanda, a loja ficará no prejuízo se aumentar os preços dessa forma.

Figura 6 – Lucro total da loja considerando as variações da demanda



Fonte: O Autor (2022).

Conforme demonstrado, fica nítido como é difícil para as empresas aumentarem sua resiliência por meio da adição de fornecedores alternativos a sua rede. E isto porque foi utilizada uma rede simplificada, isso pode ser muito mais difícil em redes mais complexas que envolvem dezenas de variáveis e que possuem uma sensibilidade maior quanto a alterações ao longo da cadeia de suprimentos, por exemplo, existem insumos que as opções de fornecimento são muito limitadas, dificultando ainda mais esse trabalho.

E ainda, os resultados mostram que a loja não consegue lidar bem com esse aumento dos custos, devido à baixa margem de lucro com a qual trabalha em condições normais, isto é muito comum no varejo, onde as empresas trabalham com margens de lucro pequenas e qualquer aumento dos custos é repassado diretamente ao consumidor final. Um outro ponto preocupante é a resposta dos consumidores a esse aumento, conforme demonstrado nos resultados, se o produto não for de caráter essencial e a demanda cair, ficará quase inviável a manutenção da operação.

Cenário 2, dessa vez para lidar com as oscilações ao longo da cadeia de suprimentos, a empresa irá aumentar o seu estoque, com o intuito de evitar a escassez de produtos, porém esta alternativa aumentará o custo para manutenção dos itens em estoque.

Em um primeiro momento, é feita a simulação para um cenário onde a demanda e o fornecimento da loja não sofrem alterações, ou seja, estão em condições normais, quando o estoque aumenta, obtemos os resultados descritos na tabela 7.

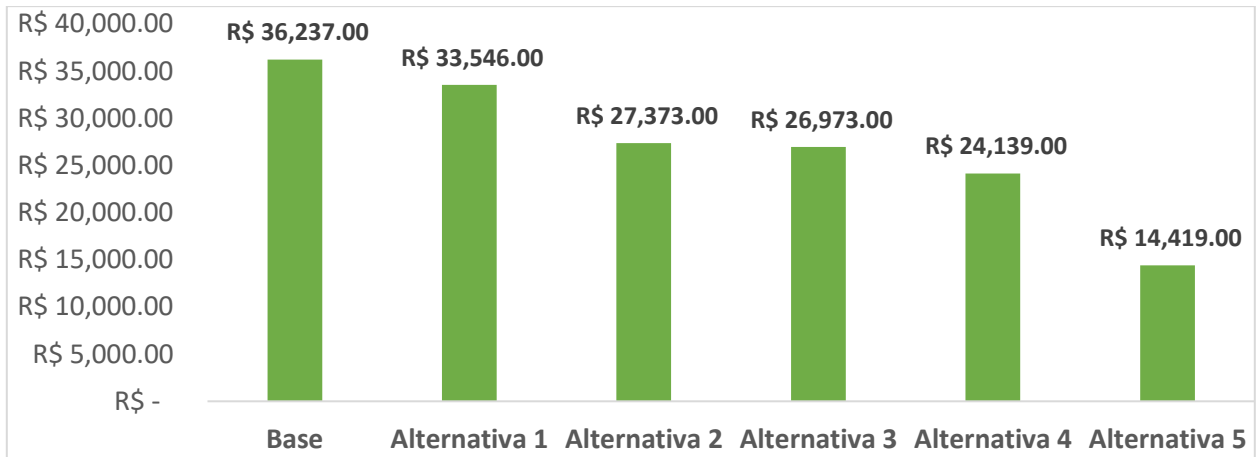
Tabela 7 - Desempenho da loja com o aumento do estoque

Cenário	Estoque	Falta de estoque	NSC médio	Estoque médio
Base	300 unidades	12	88.17%	129.77
Alternativa 1	400 unidades	10	89.70%	166.74
Alternativa 2	500 unidades	9	91.04%	222.74
Alternativa 3	600 unidades	7	93.61%	256.70
Alternativa 4	800 unidades	4	96.88%	343.81
Alternativa 5	1000 unidades	0	100.00%	482.30

Fonte: O Autor (2022).

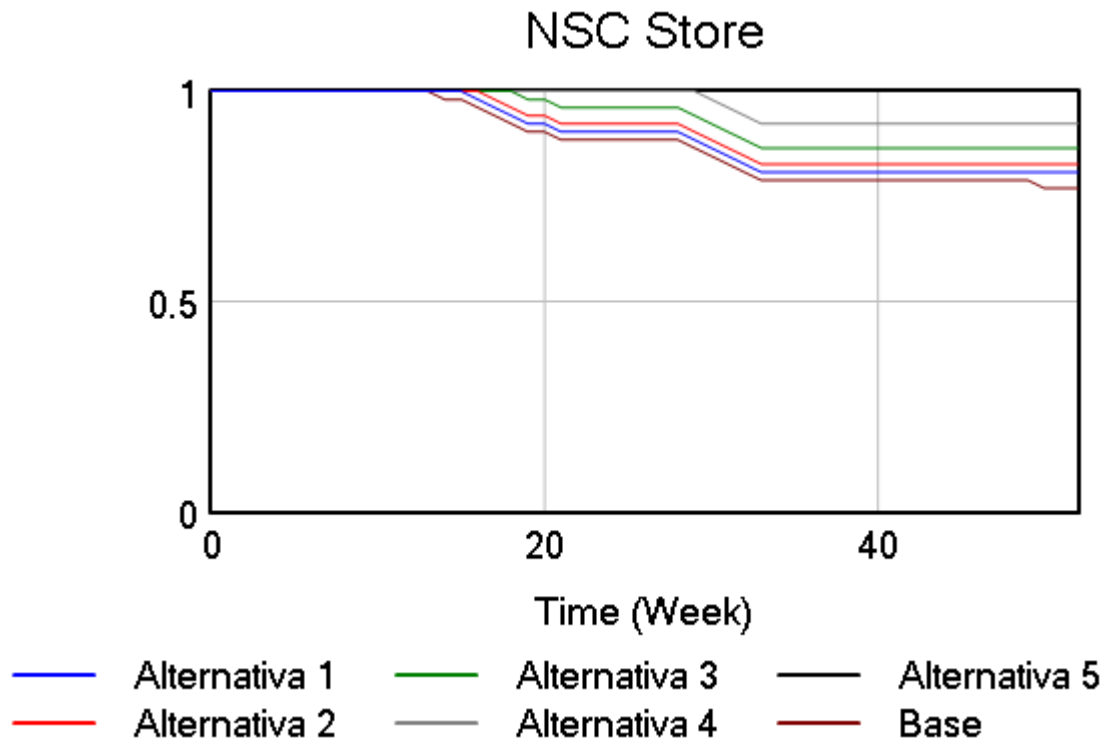
Na figura 7, temos o lucro total da loja para cada alternativa conforme descrito na tabela 7, com o aumento gradual do estoque. Na figura 8 e 9, podemos observar os indicadores ao longo do tempo, o nível de serviço e o estoque médio.

Figura 7 – Lucro da loja para com o aumento do estoque



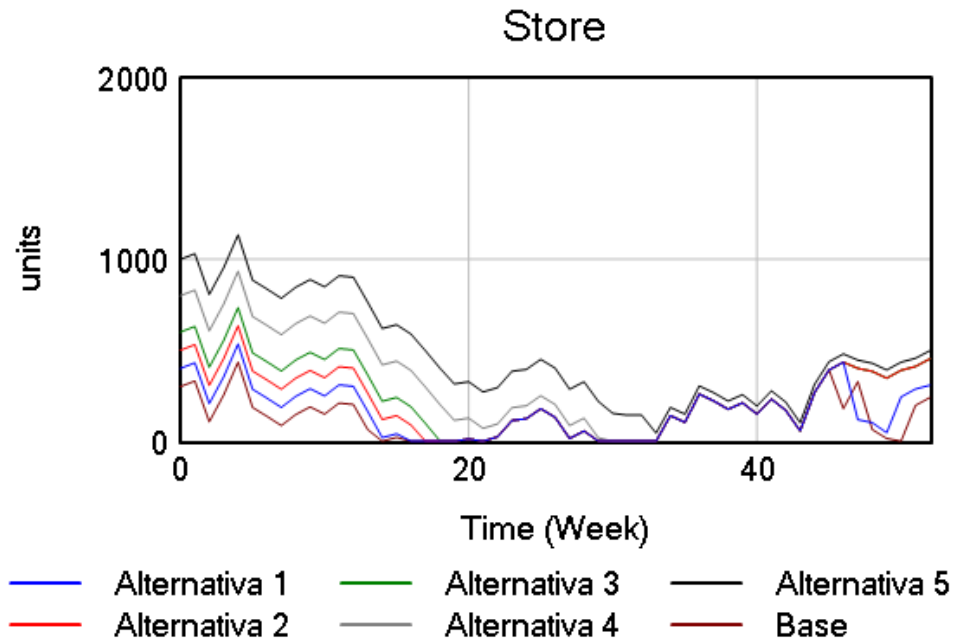
Fonte: O Autor (2022).

Figura 8 – Nível de serviço da loja ao longo do tempo com o aumento do estoque



Fonte: O Autor (2022).

Figura 9 – Estoque da loja ao longo tempo com o aumento do estoque



Fonte: O Autor (2022).

É possível notar que o estoque realmente encarece a operação, devido ao aumento dos custos logísticos, mas possibilita uma maior disponibilidade do produto aumentando nitidamente o nível de serviço prestado ao cliente. Vale ressaltar que no gráfico do nível de serviço da figura 6, para o estoque de 1000 unidades da alternativa 5, não são registradas ocorrências de falta de estoque, e a loja obtém um nível de serviço de 100% no período de um ano. Diante disso é importante encontrar o ponto ótimo, que concilia o nível de serviço com a rentabilidade da empresa.

Então diante de outra variação deste cenário, onde a demanda é mantida, porém devido às interrupções que não eram esperadas o fornecimento dos produtos diminui consideravelmente, e os resultados estão descritos na tabela 8.

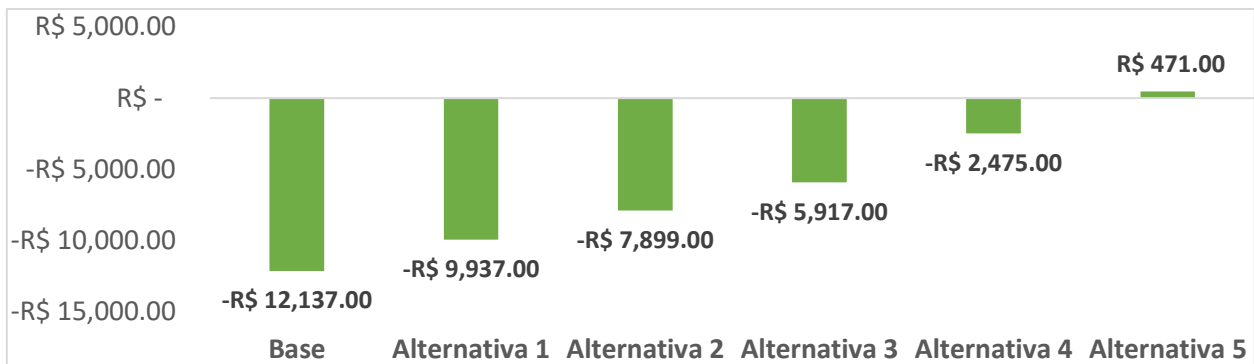
Tabela 8 – Desempenho da loja com o aumento do estoque diante de restrições

Cenário	Estoque	Falta de estoque	NSC médio	Estoque médio
Base	300 unidades	47	57.69%	18.51
Alternativa 1	400 unidades	47	57.69%	27.94
Alternativa 2	500 unidades	46	59.43%	38.91
Alternativa 3	600 unidades	45	61.14%	50.40
Alternativa 4	800 unidades	44	62.81%	78.30
Alternativa 5	1000 unidades	42	66.04%	110.89

Fonte: O Autor (2022).

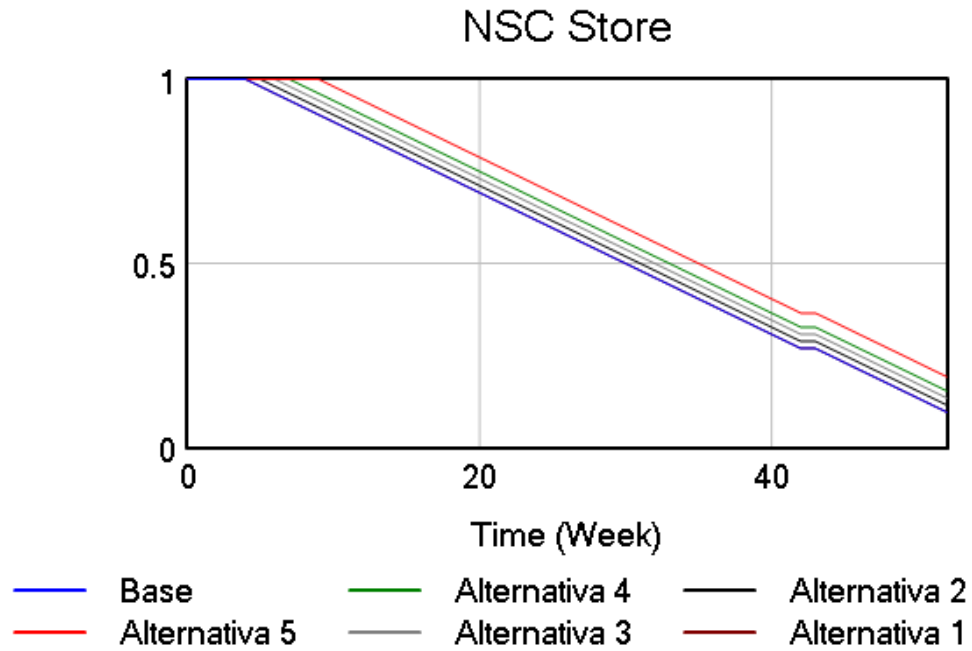
Na figura 10, temos o lucro total da loja sob restrições de fornecimento e com o aumento gradual do estoque para cada alternativa, conforme descrito na tabela 8. Na figura 11 e 12, podemos observar os indicadores ao longo do tempo, o nível de serviço e o estoque.

Figura 10 – Lucro da loja para a alternativa 2, com restrições de fornecimento



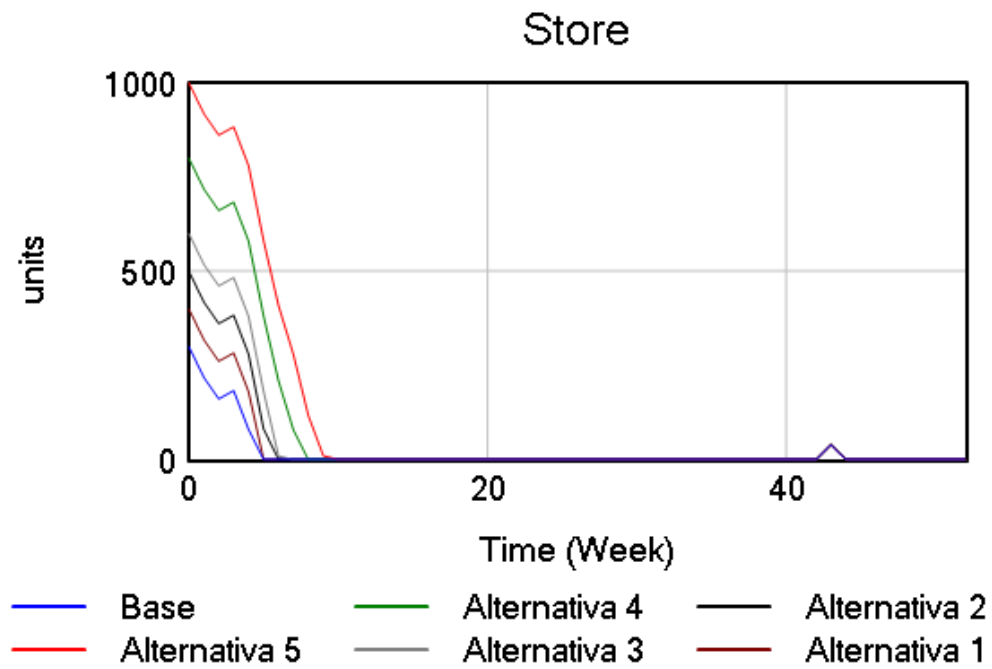
Fonte: O Autor (2022).

Figura 11 – Nível de serviço ao longo do tempo para a alternativa 2



Fonte: O Autor (2022).

Figura 12 – Estoque da loja ao longo tempo, para a alternativa 2



Fonte: O Autor (2022).

Diante de um cenário com severas restrições de fornecimento, o aumento do estoque por si só não é uma medida efetiva para amenizar as consequências da interrupção do fornecimento. Isto acontece porque o estoque irá suportar o atendimento da demanda no período inicial, porém após uma quantidade de tempo, que depende diretamente do número de itens em estoque, a loja já não conseguirá atender a demanda recebida.

Além disso, como o intuito de aumentar os estoques intermediários é que a cadeia de suprimentos consiga resistir por mais tempo a falta de produtos, a partir dos resultados obtidos, podemos observar também o tempo que a loja irá manter o lucro para cada alternativa observada, conforme descrito abaixo:

Tabela 9 – Tempo que a loja consegue manter o lucro para cada alternativa

Alternativa	Estoque	Tempo (semanas)
Base	300 unidades	17
Alternativa 1	400 unidades	25
Alternativa 2	500 unidades	29
Alternativa 3	600 unidades	34
Alternativa 4	800 unidades	42
Alternativa 5	1000 unidades	52

Fonte: O Autor (2022).

A partir dos resultados obtidos, quando consideradas as restrições de fornecimento, pode-se demonstrar como o estoque pode dar uma maior robustez para a empresa, possibilitando o atendimento da demanda por um maior tempo, mesmo assim para longos períodos e para restrições severas de fornecimento não resolverá o problema por si só.

Cenário 3, após uma série de restrições de funcionamento devido a interrupções da cadeia de suprimentos, visando a retomada das atividades e seguindo as principais tendências do mercado a loja irá investir no *e-commerce* para estimular a retomada da demanda pelos seus produtos. Para simular a implementação do *e-commerce* foi considerado um aumento gradual da demanda, com isso obtemos os resultados descritos na tabela 10.

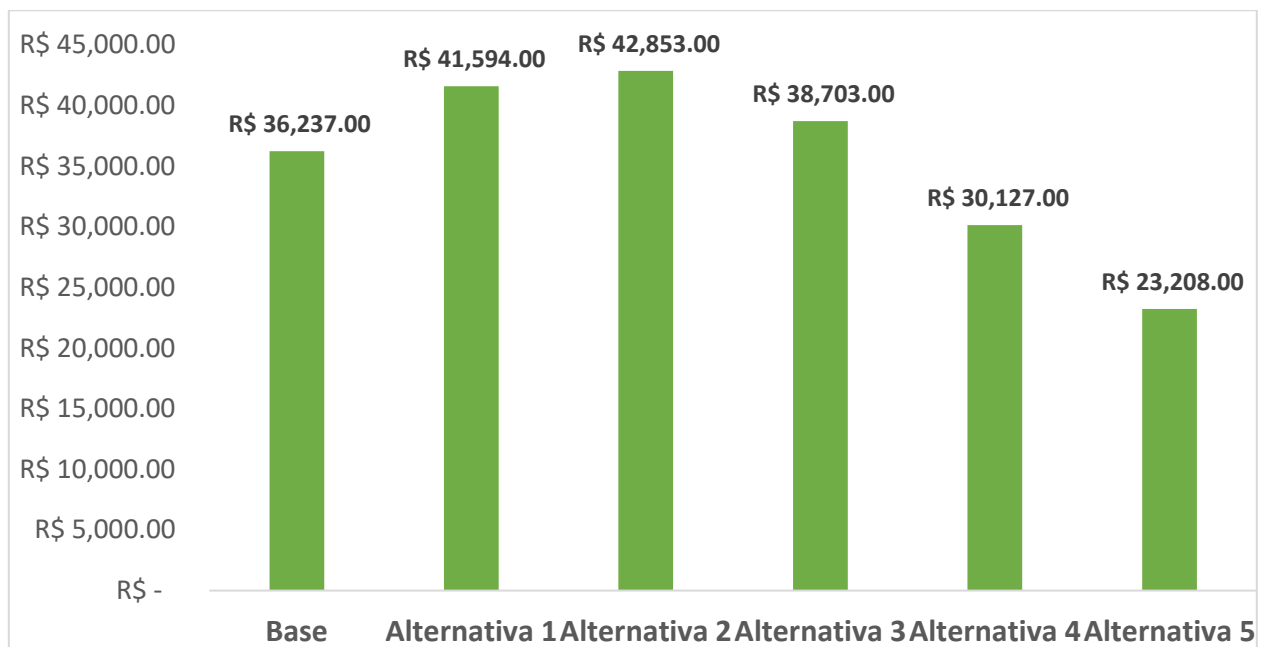
Tabela 10 – Desempenho da loja diante do aumento da demanda

Cenário	Aumento da demanda	Falta de estoque	NSC médio	Estoque médio
Base	0%	12	88.17%	129.77
Alternativa 1	10%	21	77.36%	70.66
Alternativa 2	20%	24	75.65%	66.30
Alternativa 3	30%	37	64.04%	42.66
Alternativa 4	40%	42	59.94%	38.85
Alternativa 5	50%	44	57.91%	32.85

Fonte: O Autor (2022).

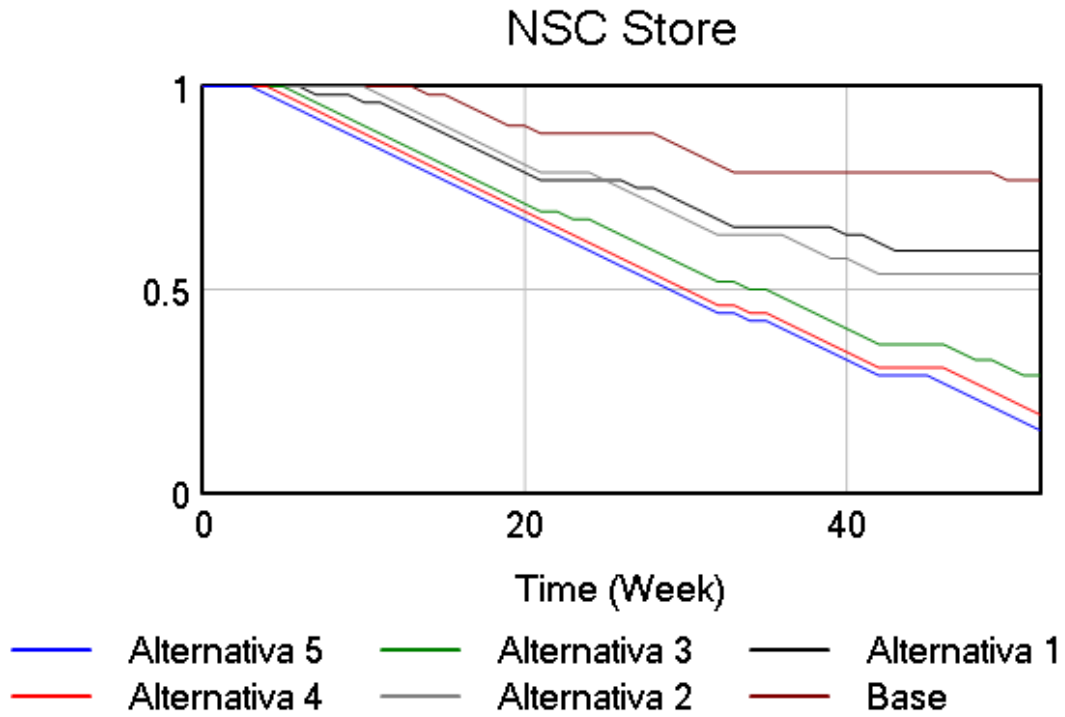
Na figura 13, temos o lucro total da loja sob condições normais de fornecimento e com o aumento gradual da demanda, conforme descrito na tabela 10. Na figura 14 e 15, podemos observar os indicadores ao longo do tempo, o nível de serviço e o estoque.

Figura 13 – Lucro total da loja com o aumento da demanda



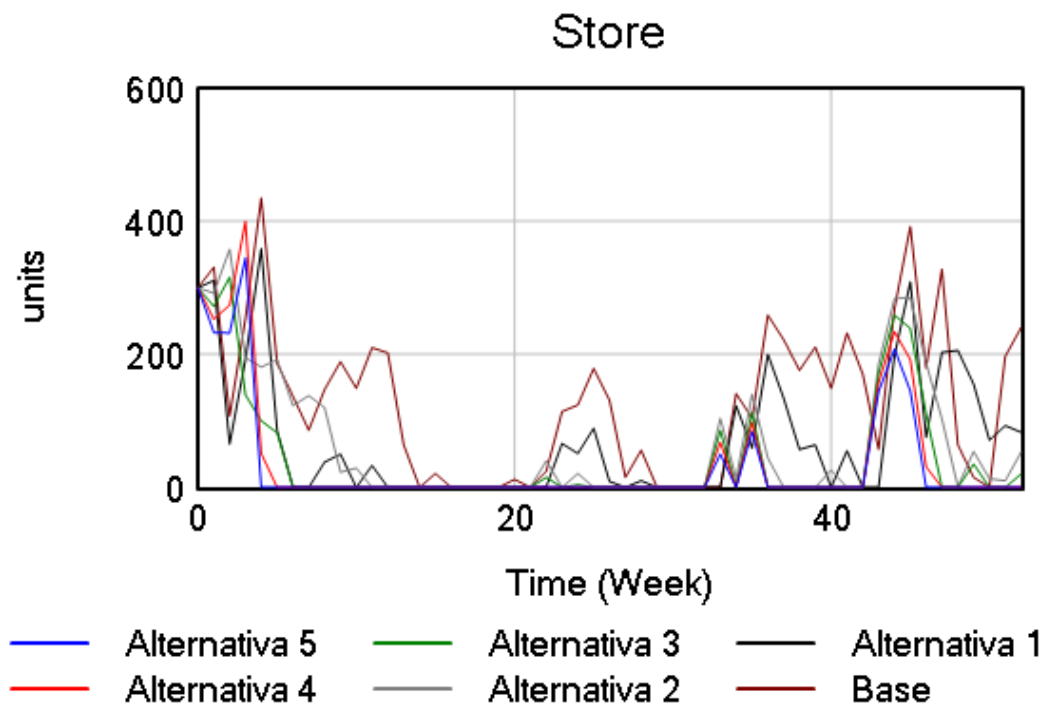
Fonte: O Autor (2022).

Figura 14 – Nível de serviço da loja ao longo do tempo com o aumento da demanda



Fonte: O Autor (2022).

Figura 15 – Estoque da loja ao longo tempo com o aumento da demanda



Fonte: O Autor (2022).

Através da simulação, pode se observar que inicialmente o aumento da demanda tende a aumentar o lucro da empresa até certo ponto, em um dado momento a empresa não consegue lidar com esse aumento da demanda e passa a perder clientes e vê seu lucro diminuir. Além disso, com o aumento da demanda, o nível de serviço tende a diminuir uma vez que com a maior procura pelos produtos, ocorreram faltas de estoque. Sendo assim, para a implementação do *e-commerce* é importante que a empresa planeje adequadamente seus recursos de forma que consiga atender a demanda crescente e aproveitar da melhor forma o seu investimento.

Cenário 4, neste cenário temos uma combinação de duas alternativas anteriores, com a implementação do *e-commerce* a demanda cresce muito, sendo necessário o aumento dos estoques para o atendimento desta demanda. Uma vez que podemos observar na alternativa 3, que a demanda atinge um ponto onde apesar da alta demanda o lucro começa a cair, uma vez que a loja não consegue mais atender a alta procura pelos produtos.

Primeiro considerando um aumento de 50% da demanda, para isso com o aumento dos estoques intermediários obtemos os resultados descritos na tabela 11.

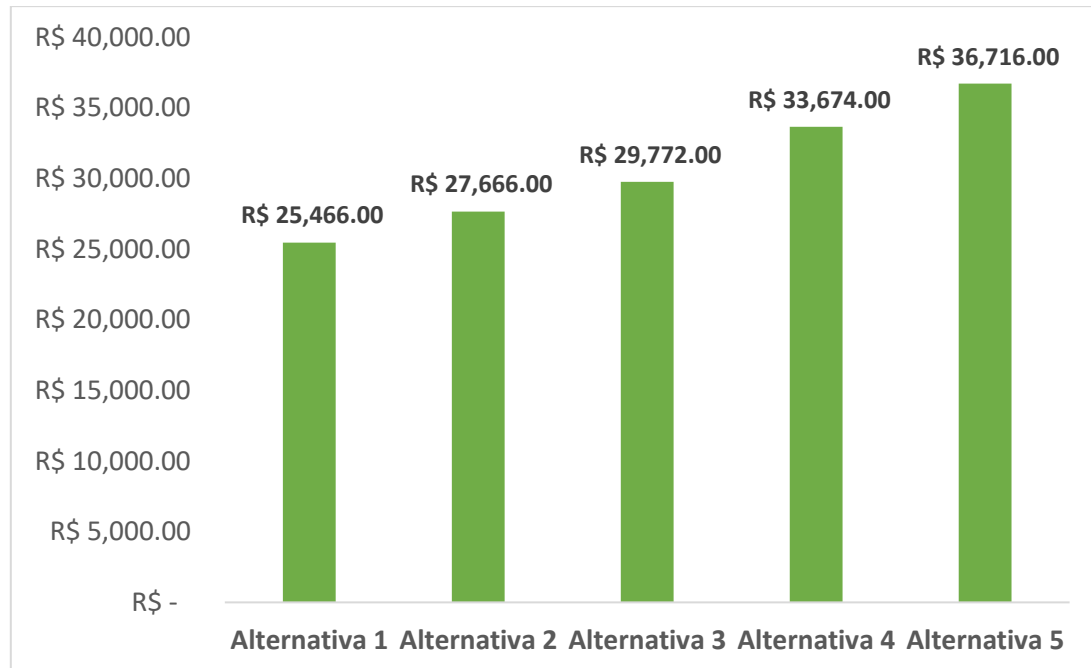
Tabela 11 – Desempenho da loja com o aumento de 50% da demanda

Cenário	Estoque	Falta de estoque	NSC médio	Estoque médio
Alternativa 1	400	43	59.69%	41.74
Alternativa 2	500	43	59.69%	51.17
Alternativa 3	600	42	61.43%	61.49
Alternativa 4	800	41	63.13%	85.06
Alternativa 5	1000	39	66.44%	116.74

Fonte: O Autor (2022).

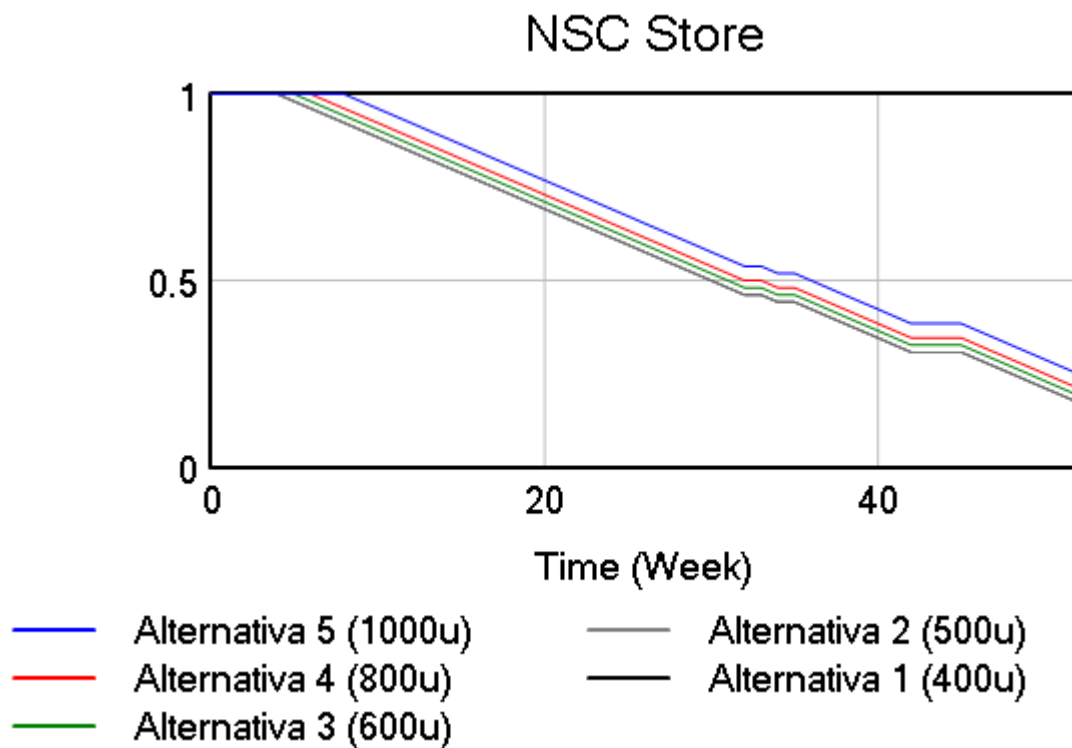
Na figura 16, temos o lucro total da loja sob condições normais de fornecimento, e com o aumento gradual dos estoques, conforme descrito na tabela 11. Na figura 17 e 18, podemos observar os indicadores ao longo do tempo, o nível de serviço e o estoque.

Figura 16 – Lucro total da loja para um aumento de 50% da demanda



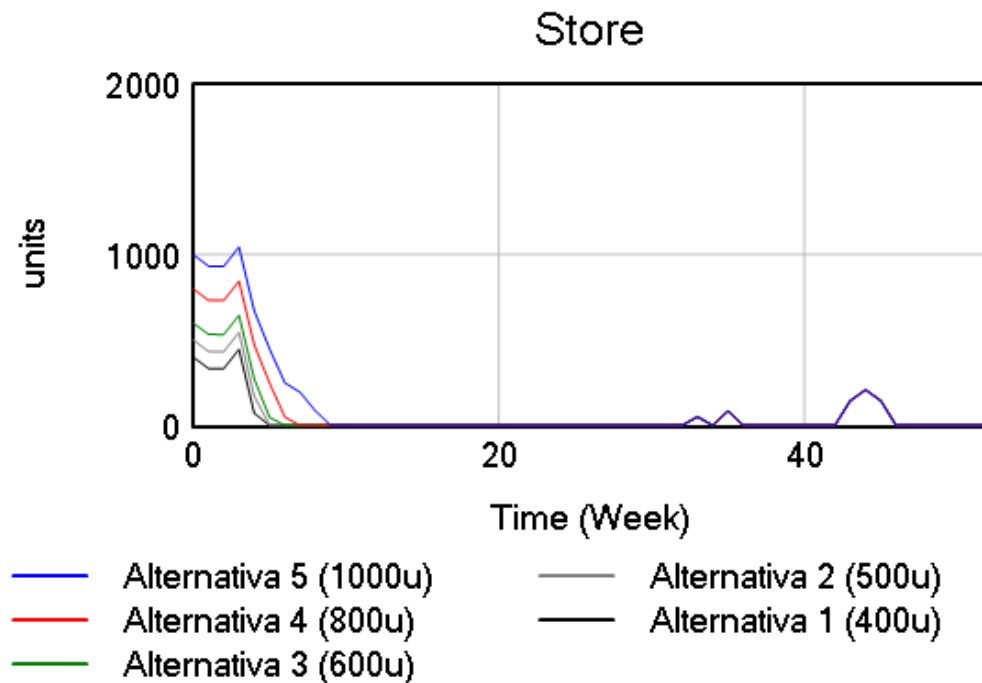
Fonte: O Autor (2022).

Figura 17 – Nível de serviço para o aumento de demanda de 50%



Fonte: O Autor (2022).

Figura 18 – Estoque ao longo do tempo com o aumento de 50% da demanda



Fonte: O Autor (2022).

Com o aumento de 50% da demanda, observa-se que somente o aumento do estoque não resolve o problema, apesar do aumento do lucro mesmo com um estoque de 1000 unidades não é possível atender a demanda com um nível de serviço razoável. Indicando que para um aumento da demanda desse nível é necessário um maior investimento, além da combinação com outras alternativas.

Avaliando para um percentual diferente de aumento da demanda, neste caso para um aumento de 20% da demanda, temos os resultados descritos na tabela 12.

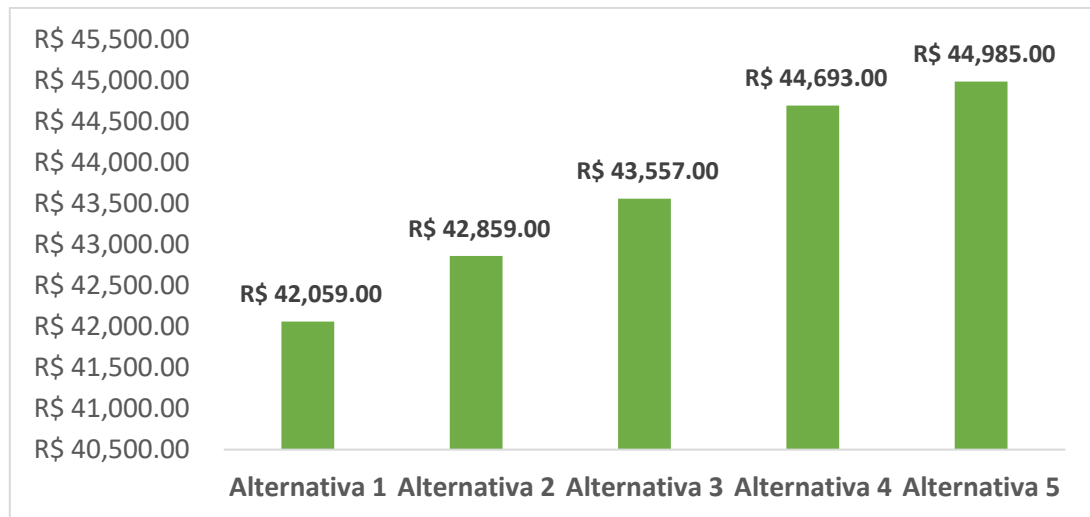
Tabela 12 – Desempenho da loja com o aumento de 50% da demanda

Alternativa	Estoque	Falta de estoque	NSC médio	Estoque médio
Alternativa 1	400	23	77.18%	87.96
Alternativa 2	500	23	77.18%	110.60
Alternativa 3	600	22	78.66%	134.21
Alternativa 4	800	21	80.12%	183.87
Alternativa 5	1000	19	82.91%	241.49

Fonte: O Autor (2022).

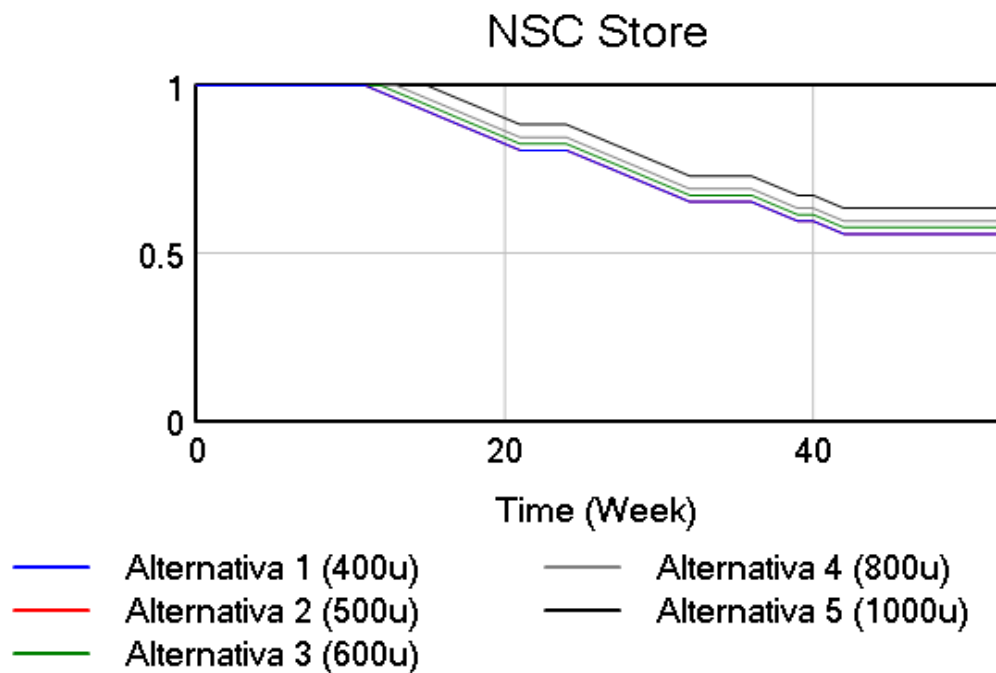
Na figura 19, temos o lucro total da loja sob condições normais de fornecimento, e com o aumento gradual dos estoques, conforme descrito na tabela 12. Na figura 20 e 21, podemos observar os indicadores ao longo do tempo, o nível de serviço e o estoque.

Figura 18 – Lucro da loja para um aumento de 20% da demanda



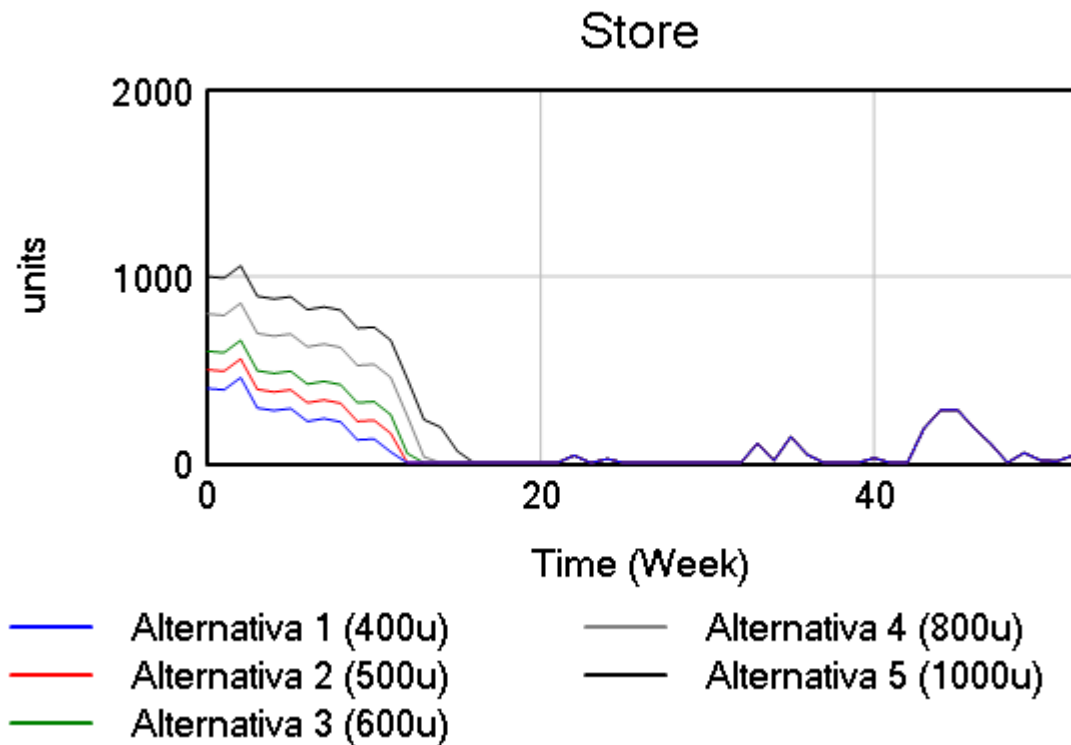
Fonte: O Autor (2022).

Figura 19 – Nível de serviço para um aumento de 20% da demanda



Fonte: O Autor (2022).

Figura 20 – Estoque ao longo do tempo para um aumento de 20% da demanda



Fonte: O Autor (2022).

Nessa outra variação do cenário 4, com um aumento menor de 20% da demanda, o aumento dos estoques consegue ter um resultado significativamente melhor, oferecendo um retorno melhor do que com o aumento de 50% da demanda, trazendo um ótimo resultado para a empresa e um bom nível de serviço para os clientes. Outro ponto de atenção foi que o nível de serviço da alternativa 1 e 2 foi igual, por isso na figura 20 as curvas estão sobescritas.

6.5 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

Do ponto de vista gerencial e estratégico é importante entender que como visto nas seções anteriores, todas as alternativas podem ser utilizadas, ou uma combinação delas, a alternativa a ser utilizada depende de diversas variáveis, depende muito do contexto no qual a empresa está inserida, do mercado, do produto comercializado, dos insumos, da disponibilidade de fornecedores, dos custos envolvidos no armazenamento,

no transporte, dentre outras variáveis. E para cada contexto o resultado obtido pela aplicação de uma dessas alternativas pode se sobressair as demais, então é imprescindível que para o processo de tomada decisão se tenha um bom entendimento do contexto no qual está inserida a empresa.

A partir dos resultados obtidos, cada cenário e cada alternativa nos apresenta uma possibilidade diferente de compreender o comportamento da cadeia de suprimentos sob diferentes condições. No primeiro cenário, onde temos a possibilidade da utilização de um fornecedor alternativo, terá um melhor desempenho para produtos que possuem uma maior variedade de fornecedores disponíveis, facilitando o processo de substituição do fornecedor principal. Produtos que são vendidos com uma boa margem de lucro também tendem a ter maior facilidade para aderir a implementação dessa alternativa, uma vez que a empresa terá uma maior flexibilidade para absorver parte do aumento de custos.

No segundo cenário, o objetivo é avaliar uma alternativa que é bem conhecida para lidar com a incerteza, o aumento dos estoques. O estoque muitas vezes é visto como um vilão, porém ele é essencial para o sucesso de qualquer operação, na grande maioria dos casos não é viável para as cadeias de suprimentos atingir o zero estoque. E o aumento dos estoques é uma possibilidade para lidar com as incertezas, porém isto envolve muitas variáveis, alguns produtos podem ter um custo muito alto para serem estocados, produtos perecíveis não podem ser estocados por muito tempo sem comprometer a qualidade do produto, entre diversos outros pontos que devem ser analisados.

No terceiro cenário, temos uma alternativa um pouco diferente, um dos efeitos mais nítidos durante a pandemia de COVID-19 foi a digitalização de muitos serviços, e um meio que as empresas encontraram, foi através da implementação de serviços de delivery e de plataformas de *e-commerce* para manter o atendimento aos seus clientes. E a utilização desse tipo de serviço tem como intuito a retomada ou o aumento da demanda em empresas de diferentes mercados, e o nível de aceitabilidade do consumidor tende a variar bastante, então antes de implementá-la é importante a realização de um estudo do mercado, buscando entender como os clientes reagiram a esta nova possibilidade de adquirir os produtos e serviços. Além disso, avaliar as

mudanças necessárias na operação, os impactos logísticos, os custos da implantação desta ferramenta, e a capacidade da empresa em atender essa nova demanda.

No quarto cenário, é feita uma combinação dos cenários apresentados anteriormente, para conciliar o aumento da demanda com uma resposta para melhor administrar essa demanda, que seria através do aumento dos estoques. Esta combinação é muito válida, porque dificilmente uma única alternativa utilizada de maneira isolada conseguirá trazer bons resultados para as organizações. E este é o grande desafio dos gestores, entender e conciliar as alternativas que podem potencializar os resultados da organização frente as adversidades do mercado. É preciso entender o contexto no qual a empresa está inserida, e buscar o ponto de equilíbrio entre o retorno para a organização e o serviço prestado a seus clientes de modo a perpetuar o negócio ao longo do tempo.

7 CONCLUSÃO

As interrupções da cadeia de suprimentos não são nenhuma novidade, algumas interrupções de menor impacto costumam acontecer frequentemente, e as empresas costumam responder bem a esses eventos de menor escala. Porém, eventos disruptivos como a pandemia de COVID-19, mostram o quão importante é uma cadeia de suprimentos resiliente que consiga absorver os impactos dessas interrupções e se adaptar para entregar os produtos e/ou serviços ao consumidor final. E para uma cadeia de suprimentos resiliente, é preciso muito planejamento e que as empresas invistam em medidas preventivas e que possuam flexibilidade ao longo da cadeia de suprimentos, para que possam resistir a eventos dessa magnitude, mas sobretudo que consigam responder de forma rápida e se adaptem às condições impostas.

A simulação é uma ferramenta muito poderosa e pode auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão, e na avaliação da melhor alternativa para o contexto em que cada empresa está inserida. Quanto maior o número de informações utilizadas para a construção do modelo, mais próximo da situação real o modelo se aproximará e mais assertivos tendem a ser os resultados.

O trabalho desenvolvido apresentou uma ampla pesquisa bibliográfica a respeito dos temas relacionados à resiliência das cadeias de suprimentos, foi desenvolvido um modelo de simulação que avaliou o desempenho de uma cadeia de suprimentos simplificada e onde foram avaliados diferentes cenários e alternativas. Com os resultados obtidos foram gerados insights que serão valiosos para o processo de tomada de decisão das organizações.

Como sugestão de trabalho futuro, o modelo pode ser aplicado em contextos e mercados específicos, com uma modelagem mais detalhada e envolvendo mais variáveis, utilizado em dados reais.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BHAMRA, R.; DANI, S.; BURNARD, K. **Resilience: the concept, a literature review and future directions**. International Journal Of Production Research, [S.L.], v. 49, n. 18, p. 5375-5393, 15 set. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2011.563826>.

BERGER, P.; GERSTENFELD, A.; ZENG, Z. **How many suppliers are best? A decision-analysis approach**. Omega, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 9-15, fev. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2003.09.001>.

CARVALHO, H. *et al.* **Supply chain redesign for resilience using simulation**. Computers & Industrial Engineering, [S.L.], v. 62, n. 1, p. 329-341, fev. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2011.10.003>. Acesso em: 10 jun. 2022.

CHILMON, B.; TIPI, N. **Modelling and simulation considerations for an end-to-end supply chain system**. Computers & Industrial Engineering, [S.L.], v. 150, p. 106870, dez. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2020.106870>. Acesso em: 10 abr. 2022.

CHOPRA, S.; SODHI, M. (2004). **Managing risk to avoid: Supply-chain breakdown**. MIT Sloan Management Review, 46(1), 53-61+87.

CHOWDHURY, P. *et al.* **COVID-19 pandemic related supply chain studies: a systematic review**. Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review, [S.L.], v. 148, p. 102271, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2021.102271>. Acesso em: 10 abr. 2022.

CHRISTOPHER, M.; PECK, H. **Building the Resilient Supply Chain**. The International Journal Of Logistics Management, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 1-14, 1 jul. 2004. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/09574090410700275>.

CNN. **15 countries, 16 people. How workers are coping with the pandemic: a global crisis**. A global crisis. 2020. Disponível em: <https://edition.cnn.com/interactive/2020/04/business/economic-impact-workers-coronavirus/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

Craighead, C. *et al.* (2007). **The Severity of Supply Chain Disruptions: Design Characteristics and Mitigation Capabilities**. Decision Sciences, 38: 131-156. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2007.00151.x>

DIAS, G.; CORREA, H. **Uso de simulação para dimensionamento e gestão de estoques de peças sobressalentes**. 1998. Disponível em: <<http://www.correa.com.br/biblioteca/artigos>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

DIXIT, V.; VERMA, P.; TIWARI, M. **Assessment of pre and post-disaster supply chain resilience based on network structural parameters with CVaR as a risk measure**. International Journal Of Production Economics, [S.L.], v. 227, p. 107655, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107655>.

FALASCA, M. **A Decision Support Framework to Assess Supply Chain Resilience**. In: INTERNATIONAL ISCRAM CONFERENCE, 5., 2008, Washington. A Decision Support Framework to Assess Supply Chain Resilience. Washington: Iscram, 2008. p. 1-10.

FRIGERI, J.; BIANCHI, M.; BACKES, R. **Um estudo sobre o uso das técnicas de simulação no processo de elaboração e execução dos planejamentos estratégico e operacional**. ConTexto - Contabilidade em Texto, Porto Alegre, v. 7, n. 12, 2009. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ConTexto/article/view/11162>. Acesso em: 10 jun. 2022.

GARVEY, M.; CARNOVALE, S. **The rippled newsvendor: a new inventory framework for modeling supply chain risk severity in the presence of risk propagation**. International Journal Of Production Economics, [S.L.], v. 228, p. 107752, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107752>.

HO, W. *et al.* **Supply chain risk management: a literature review**. International Journal Of Production Research, [S.L.], v. 53, n. 16, p. 5031-5069, 15 abr. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2015.1030467>.

HOSSEINI, S.; IVANOV, D.; DOLGUI, A. **Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis**. Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review, [S.L.], v. 125, p. 285-307, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.001>.

HOSSEINI, S.; IVANOV, D. **Bayesian networks for supply chain risk, resilience and ripple effect analysis: a literature review**. Expert Systems With Applications, [S.L.], v. 161, p. 113649, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113649>.

IVANOV, D. **Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: a simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (covid-19/sars-cov-2) case**. Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review, [S.L.], v. 136, p. 101922, abr. 2020a. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2020.101922>.

IVANOV, D. **Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic**. Ann Oper Res (2020b). <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03640-6>.

IVANOV, D. **Simulation-based ripple effect modelling in the supply chain.** International Journal Of Production Research, [S.L.], v. 55, n. 7, p. 2083-2101, 6 jan. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1275873>.

IVANOV, D; DOLGUI, A. **New disruption risk management perspectives in supply chains: digital twins, the ripple effect, and resilience.** Ifac-Papersonline, [S.L.], v. 52, n. 13, p. 337-342, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.138>.

IVANOV, D. *et al.* **Literature review on disruption recovery in the supply chain.** International Journal Of Production Research, [S.L.], v. 55, n. 20, p. 6158-6174, jun. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1330572>.

IVANOV, D.; SOKOLOV, B.; DOLGUI, A. **The Ripple effect in supply chains: trade-off efficiency-flexibility-resilience in disruption management.** International Journal Of Production Research, [S.L.], v. 52, n. 7, p. 2154-2172, 28 nov. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2013.858836>.

KINRA, A. *et al.* Alexandre. **Ripple effect quantification by supplier risk exposure assessment.** International Journal Of Production Research, [S.L.], v. 58, n. 18, p. 5559-5578, 11 out. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2019.1675919>.

KNEMEYER, A.; ZINN, W.; EROGLU, C. **Proactive planning for catastrophic events in supply chains.** Journal Of Operations Management, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 141-153, 28 jun. 2008. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2008.06.002>.

LEVALLE, R.; NOF, S. **Resilience in supply networks: definition, dimensions, and levels.** Annual Reviews In Control, [S.L.], v. 43, p. 224-236, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arcontrol.2017.02.003>.

NIKOLOPOULOS, K. *et al.* **Forecasting and planning during a pandemic: covid-19 growth rates, supply chain disruptions, and governmental decisions.** European Journal Of Operational Research, [S.L.], v. 290, n. 1, p. 99-115, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2020.08.001>.

PONOMAROV, S.; HOLCOMB, M. **Understanding the concept of supply chain resilience.** The International Journal Of Logistics Management, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 124-143, 22 maio 2009. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/09574090910954873>.

RIBEIRO, J.; BARBOSA-POVOA, A. **Supply Chain Resilience: Definitions and quantitative modelling approaches, a literature review.** Computers & Industrial Engineering, [S.L.], v. 115, p. 109-122, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.006>.

RIVERO, L. **Applications in logistics using simulation with PROMODEL.** Second Laccei International Latin American And Caribbean Conference For Engineering And

Technology, [S.L.]. p. 1-6, 02 jun. 2004. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <http://dx.doi.org/10.2172/835920>.

SADGHIANI, N.; TORABI, S.; SAHEBJAMNIA, N. **Retail supply chain network design under operational and disruption risks**. Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review, [S.L.], v. 75, p. 95-114, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2014.12.015>.

SANTOS, S. **Aplicação de modelos de simulação em sistemas de apoio a decisão**. 1992. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992. Acesso em: 10 jun. 2022.

SODHI, M.; SON, B.; TANG, C. **Researchers' Perspectives on Supply Chain Risk Management**. Production And Operations Management, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 1-13, 28 jun. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1937-5956.2011.01251.x>.

SORNETTE, D. *et al.* **Algorithm for model validation: Theory and applications**. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0611677104>. Acesso em: 20 abr. 2022.

TANG, C. **Perspectives in supply chain risk management**. International Journal Of Production Economics, [S.L.], v. 103, n. 2, p. 451-488, out. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.12.006>.

THACKER, B.; *et al.* (2004). **Concepts of Model Verification and Validation**. Disponível em: <https://doi.org/10.2172/835920>

TORABI, S.; BAGHERSAD, M.; MANSOURI, S. **Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks**. Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review, [S.L.], v. 79, p. 22-48, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2015.03.005>.

VENSIM® Software. **Download VENSIM® Software**. 2022. Disponível em: <https://vensim.com/download/>. Acesso em: 03 mar. 2022.