



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ingra Viel de Farias

Modelo baseado em tecnologias da Indústria 4.0 para aprimorar a resiliência em cadeias de suprimentos

Florianópolis
2023

Ingra Viel de Farias

Modelo baseado em tecnologias da Indústria 4.0 para aprimorar a resiliência em cadeias de suprimentos

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr.

Florianópolis
2023

Farias, Ingra Viel de

Modelo baseado em tecnologias da Indústria 4.0 para aprimorar a resiliência em cadeias de suprimentos /Ingra Viel de Farias ; orientador, Enzo Morosini Frazzon, 2023.

127 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. cadeias de suprimentos resiliente. 3. gêmeo digital. 4. fornecimento flexível. 5. indústria 4.0. I. Frazzon, Enzo Morosini . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

Ingra Viel de Farias

Modelo baseado em tecnologias da Indústria 4.0 para aprimorar a resiliência em cadeias de suprimentos

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 30 de Maio de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Gisele De Lorena Diniz Chaves, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Lynceo Falavigna Braghirolli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Lizandra Garcia Lupi Vergara
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar à Deus, pela saúde, força, persistência e sabedoria que me concedeu nessa desafiadora trajetória, pois sem Ele não seria possível.

Aos meus pais, Flávio e Katiane, por todo apoio incondicional, os anos de investimento na minha educação que me proporcionaram alcançar todos os meus objetivos até o momento. Aos meus pais e meus irmãos, Ingrid e Igor, por nossa união como família, onde somos base e motivadores uns dos outros.

Aos meus amigos, por toda paciência e por entender os meus momentos ausente. Em especial, gostaria de agradecer minha grande amiga Camila, que me apoiou e incentivou no mestrado, desde a minha entrada até o momento. Também à Marcia, por toda compreensão e apoio.

Aos meus colegas do laboratório ProLogIS, em especial ao Silvio, por ter sido essencial para o desenvolvimento da minha pesquisa, e por sempre estar disponível para me auxiliar, independente do horário e dia.

Ao Prof. Enzo, por possibilitar meu crescimento profissional e pessoal, por meio de todos os desafios e pelas oportunidades durante o período do mestrado. Também agradeço aos membros da banca, Prof. Lynceo e Prof. Gisele, por toda contribuição para aprimorar este trabalho.

“A força é alimentada pela persistência, mas é a resiliência que não nos deixa desistir, e nos faz recomeçar, quantas vezes por preciso.”

(Luiz Carlos Guglielmetti)

RESUMO

As cadeias de suprimentos (CS) precisam lidar com diversas dificuldades que têm colocado seu desempenho em risco nos últimos anos. A avaliação da vulnerabilidade das cadeias de suprimentos torna-se essencial, bem como o desenvolvimento de planos operacionais e de continuidade para mitigar as consequências das interrupções e assegurar a continuidade de processos críticos. A resiliência é uma estratégia que visa reduzir a vulnerabilidade das cadeias de suprimentos, pois garante a capacidade de evitar a interrupção e/ou se recuperar rapidamente dela. Nesse contexto, essa pesquisa tem como objetivo propor um modelo baseado em Gêmeo Digital, que contribua para o aprimoramento da resiliência nas CS. Para isto, foram identificados os três fatores, visibilidade, flexibilidade e colaboração, que mais influenciam para o aumento da resiliência, assim como as tecnologias e estratégias que apoiam esses fatores. Na sequência, por meio da modelagem de simulação baseada em agentes, os possíveis impactos de interrupções foram analisados, de forma a contribuir para tomadas de decisões mais resilientes.

Palavras-chave: cadeias de suprimentos; resiliente; gestão de riscos; gêmeo digital; blockchain; fornecimento flexível; indústria 4.0.

ABSTRACT

Supply chains (SC) have to deal with several difficulties that have put their performance at risk in recent years. Assessing the vulnerability of supply chains becomes essential, as well as developing operational and continuity plans to mitigate the consequences of disruptions and ensure the continuity of critical processes. Resilience is a strategy that aims to reduce the vulnerability of supply chains, as it ensures the ability to avoid disruption and/or recover from it quickly. In this context, this research aims to propose a model based on Digital Twin that contributes to the improvement of resilience in supply chains. To this end, the three factors, visibility, flexibility and collaboration, that most influence the increase of resilience and the technologies and strategies that support these factors will be identified. Then, through agent-based simulation modeling, the possible impacts of disruptions will be analyzed to contribute to more resilient decision making.

Keywords: supply chains; resilient; risk management; digital twin; blockchain; flexible sourcing; industry 4.0.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fases da pesquisa e respectivas macro atividades.....	23
Figura 2 – Fluxograma do fluxo de informações nas 4 fases da revisão da literatura.....	25
Figura 3 – Critérios de inclusão e exclusão dos documentos	26

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Objetivos, métodos e atividades	24
Quadro 2 – Resumo dos objetivos, resultados e contribuições	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CS	Cadeia de Suprimentos
GD	Gêmeo Digital
IoT	Internet of Things

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	18
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA	18
1.3. OBJETIVOS	19
1.3.1. Objetivo geral	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. JUSTIFICATIVAS	20
1.5. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	21
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA.....	23
3 ARTIGO 1 – RESILIÊNCIA NA CADEIA DE SUPRIMENTOS: REVISÃO TEÓRICA E CONTEXTO PRÁTICO	28
4 ARTIGO 2 - VISIBILITY MODEL FOR ENHANCING SUPPLY CHAINS RESILIENCE	44
5 ARTIGO 3 – AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA APRIMORAMENTO DA RESILIÊNCIA EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS	56
6 SÍNTESE DO ESTUDO.....	87
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
7.1 OPORTUNIDADES PARA ESTUDOS FUTUROS	91
REFERÊNCIAS	92
APÊNDICE A – CENÁRIO BASE	96

1 INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Nos últimos anos, a globalização causou o aumento dos riscos da Cadeia de Suprimentos (CS). Devido à procura por custos mais baixos na produção de um produto, as empresas buscam materiais e componentes em todo o mundo, mantêm estoques mais baixos, aumentam a agilidade em resposta às mudanças do mercado e simplificam os custos de qualidade (TAN *et al.*, 2019). As CS passaram por diversos obstáculos que colocaram seu desempenho em risco. O exemplo mais recente é a pandemia da COVID-19, que ameaçou redes de abastecimento globais e interligadas (LOHMER *et al.*, 2020), e em 2021, quando as CS ainda sofriam com os impactos gerados pela pandemia, ocorreu a crise do Canal Suez.

Para sustentar os negócios no novo ambiente de risco, é necessário avaliar a vulnerabilidade das cadeias de negócios, desenvolver planos operacionais e de continuidade para mitigar consequências e assegurar a continuação de processos críticos. Portanto, é necessário ter compreensão clara sobre os eventos indesejados que podem ocorrer na CS, bem como sobre suas consequências e impactos, de forma que a elaboração de estratégias de resiliência que proporcionem proteção adequada contra interrupções, sem reduzir a eficácia na rede da CS, não venham a se tornar um grande desafio (VLACHOS *et al.*, 2012).

Neste contexto atual, as CS são mais vulneráveis a desastres. O ambiente de negócios varia constantemente e os riscos estão presentes, sendo que para gerenciá-los, a resiliência deve ser considerada (AZADEH *et al.*, 2014). Segundo Azadeh *et al.* (2014), a resiliência de uma empresa depende das opções que um sistema tem para reagir quando uma interrupção ocorre, assim como quanta segurança o sistema contém, por meio de reservas de estoque, fornecedores redundantes, entre outros mecanismos associados. A resiliência na CS pode ser descrita como a capacidade do sistema de antecipar, detectar e se defender contra riscos (EKANAYAKE *et al.*, 2020; LOHMER *et al.*, 2020; VLACHOS *et al.*, 2012). Assim, uma CS resiliente tem a capacidade de evitar interrupções ou se recuperar rapidamente delas (LOHMER *et al.*, 2020).

Os processos resilientes são flexíveis, ágeis e devem ser adaptáveis conforme o estado desejado, podendo ser diferentes do original. Desta forma, nas CS modernas surge a necessidade de se prestar atenção na implementação de abordagens proativas, que contribuam para identificar, medir, mitigar e monitorar os riscos (RAJESH, 2020).

1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

A utilização de tecnologias da Indústria 4.0, como o gêmeo digital (GD) e a internet das coisas (IoT), contribuem na construção da resiliência. Elas possibilitam maior visibilidade da cadeia e são suporte para a tomada de decisões (IVANOV; DOLGUI, 2020). Para uma melhor compreensão da construção da resiliência na CS, é necessário realizar a avaliação do desempenho da cadeia, bem como a resposta da aplicação de estratégias de resiliência na mesma (HAN *et al.*, 2020).

Inserir essas tecnologias como apoio à tomada de decisões ainda é um desafio para as organizações, mas mostra-se cada vez mais necessário para reduzir os impactos de eventos adversos e para mantê-las competitivas no mercado. A utilização de modelos permite a compreensão de ambientes em estudo, oportunizando a identificação de problemas, a formulação de estratégias e oportunidades, bem como a análise sistemática do processo de tomada de decisões.

Nesse sentido, esse trabalho aborda a utilização da tecnologia GD em um modelo de simulação genérico, como forma de analisar o impacto de diferentes estratégias de resiliência de uma CS, auxiliando assim no processo de tomada de decisões. O modelo em questão permite a análise de diferentes estratégias em tempo real, de forma que, respondendo de forma adequada, pode-se aprimorar a resiliência da CS.

1.3. OBJETIVOS

Desta forma, o objetivo geral foi definido, bem como três objetivos específicos.

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo baseado em tecnologias da Indústria 4.0 para aprimorar a resiliência nas cadeias de suprimentos.

1.3.2. Objetivos específicos

Desta forma, desdobram-se os seguintes objetivos específicos:

- i. Identificar as características necessárias para que as cadeias de suprimentos sejam consideradas resilientes;

- ii. Desenvolver um modelo conceitual que contribua na construção da resiliência na cadeia de suprimentos;
- iii. Verificar o desempenho do modelo proposto em cenários fictícios, avaliando a resiliência da cadeia de suprimentos em comparação com um cenário sem a aplicação do modelo.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Diante das atuais exigências de competição e enfrentamento de incertezas dentro e fora da rede, como contingenciamento, mercado, política econômica, interrupções, desastres, pandemias e/ou terrorismo, que impactam negativamente a performance e tornam a CS vulnerável, a resiliência é um elemento-chave para a sobrevivência da cadeia. O nível de resiliência em um sistema é uma função de sua vulnerabilidade e capacidade de recuperação (CHEN *et al.*, 2020). Uma vez que a melhoria da resiliência pode ser alcançada com combinações entre tecnologias digitais e fatores que contribuem para resiliência, como por exemplo a flexibilidade e a agilidade, a integração desses elementos fornece suporte para enfrentar e recuperar a interrupção, bem como quantificar seu impacto (HOSSEINI *et al.*, 2021). Desta forma, encontra-se a oportunidade de se explorar a integração entre os fatores da resiliência e tecnologias digitais, em todas as fases da resiliência na CS.

Medidas de resiliência são o principal componente da capacidade de resiliência da CS, sendo estas necessárias para avaliação do nível de resiliência da CS quando essa for interrompida. Portanto, embora a resiliência na CS seja um campo de pesquisa emergente, poucos estudos tratam a medição desta (CHEN *et al.*, 2020; HOSSEINI *et al.*, 2019).

O tempo é uma das restrições mais importantes nas operações de recuperação na prática, pois os problemas relativos às interrupções da CS lidam com configurações dependentes do tempo, como por exemplo, o controle de estoque dinâmico. O GD pode contribuir mostrando a propagação e o impacto da interrupção, o teste eficiente da política de recuperação e a adaptação dos planos de contingência, de acordo com cada situação, por representar o estado da rede em qualquer momento (HOSSEINI *et al.*, 2019).

Neste contexto, entende-se que uma abordagem a partir de GD, que leve em consideração as restrições de tempo, pode contribuir com a necessidade cada vez mais evidente de se aprimorar a capacidade de resiliência das CS. Adicionalmente, o uso de simulações baseadas em agentes pode contribuir para a análise de possíveis consequências oriundas das

interrupções em CS, possibilitando assim tomadas de decisões mais ágeis e que minimizem os efeitos negativos.

1.5. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este estudo está enquadrado na área de concentração de logística e cadeia de suprimentos, relacionado à linha de pesquisa de modelagem e gestão de sistemas logísticos inteligentes. Esta pesquisa está delimitada na construção, por meio do *software Anylogistix*[®], de um modelo de GD com recurso de monitoramento que forneça a visibilidade da CS de ponta a ponta. A CS utilizada tem como característica ser generalista, e possui os seguintes atores: cliente, centro de distribuição, fábrica e fornecedor. Ainda, limita-se ao fluxo do material e de informações ao longo da cadeia e perante a ocorrência de eventos disruptivos.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa está organizada segundo a forma de coletânea de artigos, padronizada com a resolução vigente 002/PPGEP/2018, aprovada em 07 de novembro de 2018 e disponibilizada no site do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (<https://ppgep.ufsc.br/legislacao/>). Desta forma, a formatação adotada neste documento é a seguinte:

- i. Os capítulos 1, 2, 3 e 5 estão na língua portuguesa. O capítulo 4 está na língua inglesa, por ser um artigo submetido em periódico internacional;
- ii. Conforme a formatação da ABNT, as referências utilizadas nos capítulos 1 e 2 são apresentadas após o capítulo 7;
- iii. As referências apresentadas no artigo do capítulo 5 são indicadas ao final do mesmo, no padrão de formatação ABNT, até ser definido o periódico e ser atualizada a formatação adequada;
- iv. As referências apresentadas nos artigos dos capítulos 3 e 4 são indicadas ao final de cada um, no padrão de formatação da revista submetida;
- v. Nos capítulos 3, 4 e 5 a numeração de Figuras e Tabelas segue a contagem do próprio artigo, bem como as suas subseções.

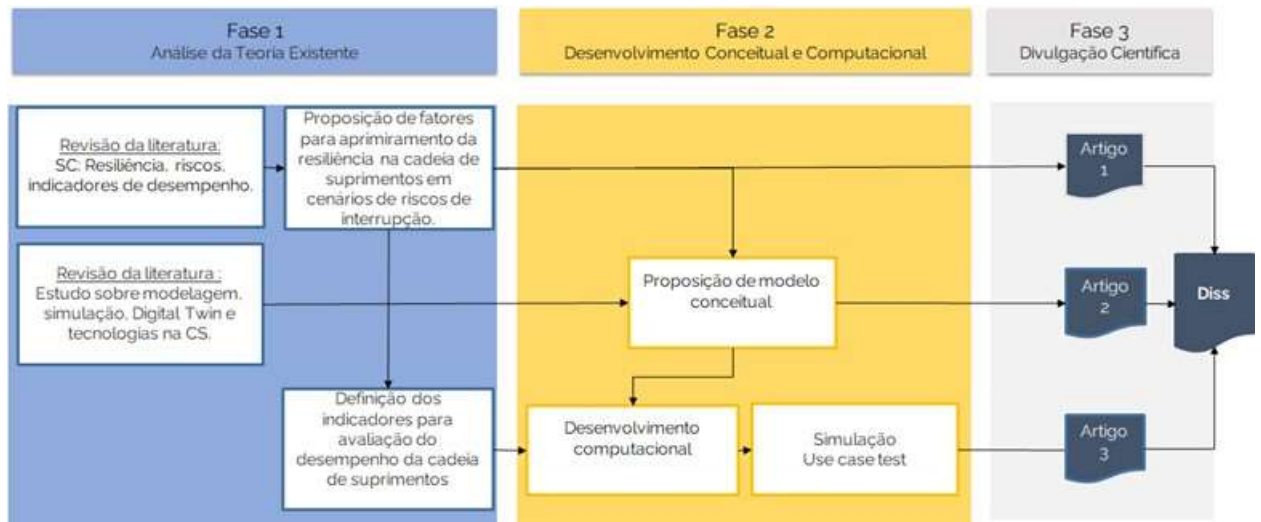
Este estudo foi dividido em 7 capítulos. O capítulo 1 apresenta o contexto da área de concentração desta pesquisa, a justificativa, os objetivos gerais e específicos, delimitação do tema e a estrutura do trabalho. No capítulo 2, são relatados os procedimentos e técnicas

utilizadas nessa pesquisa. No capítulo 3 é apresentado o artigo que foi o resultado da primeira fase desta pesquisa, o qual contém o referencial teórico deste documento. No capítulo 4 é apresentada a primeira etapa da segunda fase dessa pesquisa, que resultou no segundo artigo do compêndio, com a proposta do modelo conceitual. No capítulo 5 é apresentado o último artigo, que traduz o modelo conceitual em modelo computacional e valida a aplicabilidade do mesmo em um use case. Por fim, os capítulos 6 e 7 apresentam a síntese e considerações finais, respectivamente, desta pesquisa.

2 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Buscando atender aos objetivos apresentados e o melhor acompanhamento do progresso do trabalho, a pesquisa realizada foi estruturada em três fases principais, conforme a Figura 1, que são: análise da teoria existente, desenvolvimento conceitual e computacional e divulgação científica. Para a execução da Fase 3, todas as atividades das Fases 1 e 2 precisam ter sido finalizadas. Já as atividades das duas primeiras fases foram executadas de forma paralela.

Figura 1 – Fases da pesquisa e respectivas macro atividades



Fonte: elaborado pela autora

A seção de resultados da dissertação será composta por três artigos científicos, que contemplarão os objetivos, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Objetivos, métodos e atividades

Objetivo Geral	Objetivo Específico	Método de Pesquisa	Artigo Relacionado
Propor um modelo baseado em tecnologias da indústria 4.0 para aprimorar a resiliência nas cadeias de suprimentos	Identificar as características necessárias para que as cadeias de suprimentos sejam consideradas resilientes	Revisão da literatura	Artigo 1
	Desenvolver um modelo conceitual que contribua na construção da resiliência na cadeia de suprimentos	Revisão da literatura Modelagem Conceitual	Artigo 2
	Verificar o desempenho do modelo proposto em cenários fictícios, avaliando a resiliência da cadeia de suprimentos em comparação com um cenário sem a aplicação do modelo	Modelagem e simulação	Artigo 3

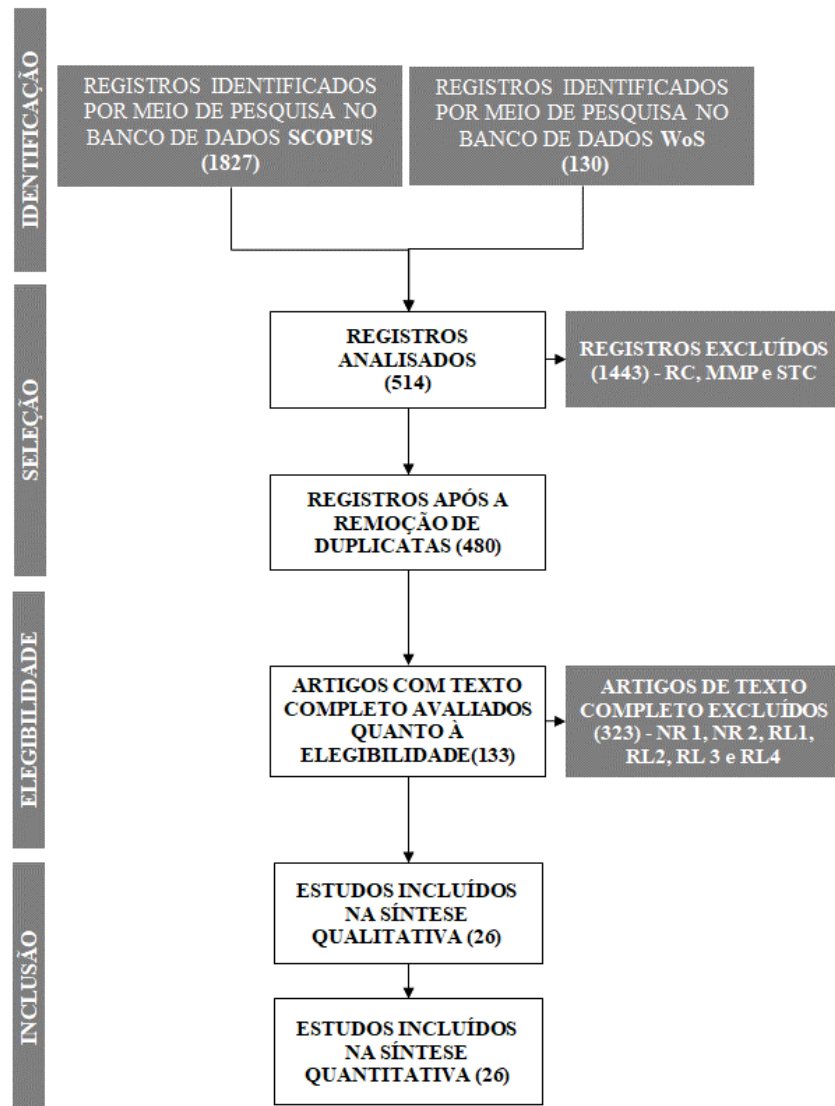
Fonte: elaborado pela autora

Com a correlação entre as fases e os objetivos específicos, obtida com as análises da Figura 1 e do Quadro 1, pode-se ler a descrição de cada fase abaixo.

- a. **Análise da Teoria Existente:** nesta fase da pesquisa, foi realizada uma revisão da literatura por meio do método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), que consiste em uma lista de verificação de 27 itens e um fluxograma do fluxo de informações de 4 fases (conforme a Figura 2), com objetivo de melhorar o relato das revisões sistemáticas e meta-análises (MOHER *et al.*, 2009). Portanto, o intuito desta fase é fornecer uma base sólida para o desenvolvimento de um modelo, por meio da identificação dos conceitos que cercam os assuntos estudados neste trabalho, como Gerenciamento de riscos da CS, Resiliência na CS e Gêmeo Digital. Esta fase é detalhada ao longo do Capítulo 3 deste trabalho, o qual apresenta o artigo resultante da aplicação da revisão da literatura. Como resultado preliminar, obteve-se 1957 artigos das bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. Após a aplicação de todos os critérios estabelecidos para elegibilidade e análise para seleção da síntese qualitativa e quantitativa (Figura 3), foram selecionados 26 documentos para realizar o levantamento dos fatores

de aprimoramento da resiliência. Ao fim, foram relacionados 24 fatores, dos quais a Flexibilidade, a Colaboração e a Visibilidade foram os mais citados.

Figura 2 – Fluxograma do fluxo de informações nas 4 fases da revisão da literatura



Fonte: Adaptado de Moher *et al.* (2009)

Figura 3 – Critérios de inclusão e exclusão dos documentos

	Critério	Explicação
Inclusão	Intimamente relacionado (RC)	Os esforços de pesquisa do artigo são explicitamente dedicados a resiliência na cadeia de suprimentos. Período de tempo: anterior ao dia 11/11/2021; Assunto: Engenharia; Tipo de documento: Article, Conference Paper and Review; Língua inglesa
	Motivo do mecanismo de pesquisa (MMP)	O artigo possui apenas o título, o resumo e as palavras-chave em inglês, mas não o texto completo.
Exclusão	Sem texto completo (STC)	Um artigo sem o texto completo.
	Não relacionado (NR)	NR1: Artigo não é um artigo acadêmico. NR2: O trabalho não está alinhado com a "cadeia de suprimentos resilientes".
	Relacionado livremente (RL)	O artigo não se concentra na discussão de cadeia de suprimentos resilientes. Em que: RL1: cadeia de suprimentos resiliente é usada apenas como exemplo de fato; RL2: cadeia de suprimentos resiliente é usada apenas como parte de sua direção de pesquisa futura;
		RL3: cadeia de suprimentos resiliente é usada apenas como expressão citada; RL4: cadeia de suprimentos resiliente é usada apenas em palavras-chave e/ou referências.

Fonte: Adaptado de Liao *et al.* (2017)

- b. Desenvolvimento Conceitual: A fase 2 foi dividida em duas etapas. Na etapa 1, foi utilizada a metodologia de modelagem e simulação para a proposição de modelo conceitual para uma CS resiliente e, posteriormente, foi verificado o impacto do modelo no desempenho da cadeia de suprimentos. A modelagem e simulação é o processo de criação e teste de um sistema físico, por meio de um modelo matemático computadorizado. Desta forma, o modelo conceitual é uma descrição específica do modelo de simulação, que descreve objetivos, entradas, saídas, conteúdo, suposições e simplificações do modelo (TURRIONI; MELLO, 2012). Esta etapa também é detalhada no Capítulo 4 deste trabalho, o qual apresenta como resultado o modelo conceitual propriamente dito, para aprimoramento da resiliência com base nos fatores flexibilidade, colaboração e visibilidade. Desta forma, o modelo conceitual proposto é fundamentado na abordagem de otimização baseada na simulação de Pires *et al.* (2018) e adicionada de recursos que apoiam o aprimoramento da resiliência, por meio dos fatores colaboração e visibilidade na CS, que são o modelo de simulação GD, o dispositivo de rastreamento vinculado ao estoque em trânsito e compartilhamento de informação suportada pela tecnologia *blockchain*. Esta etapa tem como objetivo o desenvolvimento do modelo conceitual de um GD

que forneça visibilidade do estoque em trânsito, flexibilidade frente às adversidades nas operações e colaboração entre os participantes da CS.

- c. Desenvolvimento Computacional e Aplicação do modelo: ainda na fase 2, porém na etapa que resulta em um terceiro artigo, foi desenvolvido um modelo computacional de simulação, a partir do modelo conceitual elaborado. Os modelos de simulação são uma classe importante dos modelos de pesquisa operacional. Eles imitam as operações do sistema real, à medida que este evolui no tempo e são amplamente utilizados para analisar sistemas complexos. Desta forma, os modelos de otimização são métodos de solução de modelos. Um método ótimo/exato é aquele que gera a melhor solução possível, a solução ótima, do ponto de vista do critério a ser otimizado, a função objetivo (CAUCHICK-MIGUEL *et al.*, 2018). Nesta etapa, o modelo conceitual foi traduzido em linguagem de programação do *software AnyLogistix*[®] e adicionado o fator flexibilidade, com a estratégia de fornecimento flexível por meio de fornecedor *backup*. A partir da definição de dados para uma CS genérica, este modelo aplicado ao *software* busca mensurar o impacto que a adoção de certas tecnologias pode ter na resiliência, utilizando cenários fictícios e avaliando por meio dos indicadores financeiros e operacionais, como lucro, custo total, custo de manutenção de estoque e atendimento de produtos no prazo.
- d. Divulgação Científica: Por fim, esta etapa tem como objetivo disseminar os resultados obtidos, garantindo a replicabilidade do método proposto. Para isto, foram construídos três artigos. No primeiro, são apresentados os três fatores de aprimoramento da resiliência, baseados na literatura desenvolvida na Fase 1. O segundo artigo envolve a proposta de um modelo conceitual de aprimoramento da resiliência na CS, apoiado nos fatores definidos na etapa anterior. O terceiro artigo engloba o principal resultado deste estudo, ou seja, a aplicação do modelo com apoio do *software* de simulação. Desta forma, a junção dos três artigos contempla a dissertação de mestrado.

3 ARTIGO 1 – RESILIÊNCIA NA CADEIA DE SUPRIMENTOS: REVISÃO TEÓRICA E CONTEXTO PRÁTICO

Este artigo foi aceito para publicação no XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, em 2022.

Resumo

As cadeias de suprimentos passaram por diversos incidentes que colocaram seu desempenho em risco nos últimos anos, o exemplo mais recente é a pandemia Covid-19 que ameaçou redes de abastecimentos globais e interligadas. Para sustentar os negócios no novo ambiente de risco hoje, é necessário avaliar a vulnerabilidade das cadeias de negócios e desenvolver planos operacionais e de continuidade para mitigar consequências e assegurar a continuação de processos críticos. Portanto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura no contexto da resiliência na cadeia de suprimentos, visando apresentar o cenário atual, definições e identificar os fatores que aprimoram a resiliência na cadeia de suprimentos. A abordagem de Metodologia para Itens de Relatório Preferenciais para Revisão Sistemática e Metanálise (PRISMA) foi adotada como guia desta revisão. Nos resultados, foi possível apresentar como os fatores, flexibilidade, redundância e visibilidade, que possuem maior influência na melhoria da cadeia de suprimentos resiliente.

Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos Resiliente; Cadeia de Suprimentos; Resiliência; Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos; Gestão de Riscos.

3.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a globalização e a produção enxuta causaram o aumento dos riscos da CS. Devido à busca por custos mais baixos na produção de um produto, as empresas buscam materiais e componentes em todo o mundo, mantêm estoques mais baixos, aumentam a agilidade em resposta às mudanças do mercado e simplificam os custos de qualidade (TAN; ZHANG; CAI, 2019). As cadeias de suprimentos (CS) passaram por diversos incidentes que colocaram seu desempenho em risco nos últimos anos, o exemplo mais recente é a pandemia COVID-19 que ameaçou redes de abastecimentos globais e interligadas (LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020) e a situação foi agravada em 2021 com a crise do Canal Suez.

Para sustentar os negócios no novo ambiente de risco, é necessário avaliar a vulnerabilidade das cadeias de negócios, desenvolver planos operacionais e de continuidade para mitigar consequências e assegurar a continuação de processos críticos. Portanto, é necessário ter compreensão clara sobre os eventos indesejados que podem ocorrer na CS, bem como sobre suas consequências e impactos, tornando o maior desafio a elaboração de estratégias de resiliência que proporcionem proteção adequada contra interrupções sem reduzir a eficácia na rede da CS em situações normais de negócio (VLACHOS et al., 2012).

Diante das atuais exigências de competição, enfrentamento de incertezas dentro e fora da rede, como contingenciamento, mercado, política econômica, interrupções, desastres, pandemias ou terrorismo, que impactam negativamente a performance e tornam a CS vulnerável, a resiliência é um elemento-chave para a sobrevivência da cadeia. A resiliência na CS pode ser definida como a capacidade adaptativa da CS de se preparar para eventos inesperados, responder a interrupções e se recuperar delas, mantendo a continuidade das operações dentro dos níveis esperados de conexão e controle sobre a estrutura e função, com o objetivo de recuperar o estado desejado de um sistema dentro de um custo e tempo aceitáveis (EKANAYAKE; SHEN; KUMARASWAMY, 2020; HOSSEINI; IVANOV; DOLGUI, 2019).

Este trabalho busca entender quais fatores possuem maior influência no aprimoramento da resiliência na CS, com base na literatura selecionada nesse estudo. Portanto, os objetivos são: 1) analisar o cenário atual da literatura em relação as definições e abordagens da CS resiliente e 2) identificar os principais fatores que aumentam a resiliência da CS.

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

3.2.1 Gerenciamento de riscos na CS

Uma CS é considerada uma meta-organização composta por organizações interdependentes que integram sistemas de negócios entre si e constroem relacionamentos interorganizacionais. Portanto, ela envolve todas as organizações pertencentes aos processos de design, fabricação, distribuição, marketing e varejo de um produto ou serviço, tornando o seu gerenciamento complexo e desafiador (OH; MOON; ZHONG, 2020).

As tarefas pertencentes a rede da CS, são: o gerenciamento das relações entre as diferentes partes envolvidas, como fornecedores, fabricantes, distribuidores e clientes, rastreamento de itens e controle de processos (CHAMEKH et al., 2018). A rede da CS é

essencialmente uma rede dinâmica orientada para o fluxo de informações com a operação de fluxo de material e fluxo de caixa (LONG, 2014).

Nesta linha, o ambiente externo e o interno e a relação entre a oferta e a demanda dão origem a complexidade da CS (WEI; PRYBUTOK; SAUSER, 2021). Portanto, de acordo com os mesmos autores, a coordenação das funções de negócios tanto internas a uma empresa quanto entre os participantes da CS é realizada no gerenciamento da CS, e este tem como objetivo a melhoria do desempenho de longo prazo das empresas individuais e da CS como um todo.

Desta forma, o principal objetivo ao projetar uma CS é preservar sua eficácia atendendo a demanda do cliente e manter-se competitiva no mercado. Para que tal objetivo possa ser atingido, os riscos que incidem na CS devem ser identificados, avaliados e priorizados (SABOUHI; PISHVAEE; JABALAMELI, 2018).

Em resumo, a CS é uma integração de processos de negócios ou organizações e para que a gestão do impacto das interrupções ocorra, é necessário o conhecimento mais amplo dessa integração (DUONG; CHONG, 2020). A vulnerabilidade da CS a riscos e interrupções varia conforme a probabilidade da ocorrência e impacto (KAUPPI et al., 2016). Portanto, conforme os mesmos autores, a prioridade para mitigação é definida em termos dessas duas características. Os riscos da CS são multifacetados e podem ser classificados em (IVANOV, 2020; SABOUHI; PISHVAEE; JABALAMELI, 2018):

- a) Riscos operacionais, estão relacionados a distúrbios do dia a dia nas operações de CS e às incertezas inerentes, como prazo de entrega, flutuações de demanda e incertezas de custo;
- b) Riscos interrupção, são eventos de baixa frequência e alto impacto. Como os desastres naturais, por exemplo terremotos e tsunamis, as catástrofes provocadas pelo homem (por exemplo, uma explosão na fábrica da BASF na Alemanha em 2016 e a escassez resultante de matérias-primas em CSs globais), disputas legais ou greves e surtos epidêmicos.

Os surtos epidêmicos, como exemplo do coronavírus COVID-19, são um tipo especial de riscos de interrupção da CS. Eles são caracterizados pela interrupção de longo prazo e escala imprevisível, propagação simultânea de interrupção e propagação de surto epidêmico, e perturbações simultâneas no fornecimento, na demanda e na infraestrutura logística. Devido à incerteza que geram, as empresas necessitam de um framework orientado no desenvolvimento de plano pandêmico para sua CS (IVANOV; DOLGUI, 2020).

A integração entre elos da CS por meio da colaboração e do compartilhamento de informação, destacando a relação entre fornecedor e cliente, contribui para o aumento da

visibilidade que, por sua vez, é um fator crucial para uma gestão de risco eficiente. Por fim, a gestão de risco eficaz busca impactar o desempenho operacional, criando cadeias de suprimentos robustas e resilientes (KAUPPI *et al.*, 2016).

Munida da gestão de risco, a organização possui a capacidade de enfrentar ameaças e oportunidades no ambiente possibilitando atender os requisitos do cliente sob a incerteza do mercado e aumentar a participação e o crescimento da empresa no mercado, desta forma, o desempenho da gestão de risco tem influência significativa e positiva no desempenho da organização (LIU *et al.*, 2018).

Desta forma, a resiliência é considerada como apoio para as cadeias de suprimentos modernas na implementação de abordagens proativas que contribuam para identificar, medir, mitigar e monitorar seus riscos (RAJESH, 2020). A resiliência na CS pode ser definida como a capacidade adaptativa da cadeia de abastecimento de se preparar para eventos inesperados, responder a interrupções e se recuperar delas, mantendo a continuidade das operações dentro dos níveis esperados de conexão e controle sobre a estrutura e função (EKANAYAKE *et al.*, 2020).

3.3 METODOLOGIA

Neste estudo foi realizada uma Revisão de Literatura, baseada na abordagem de Metodologia para Itens de Relatório Preferenciais para Revisão Sistemática e Metanálise (PRISMA). Este método de revisão da literatura foi utilizado com o intuito de compreender como as pesquisas estão abordando a resiliência na CS e identificar os três fatores essenciais da resiliência.

O trabalho foi realizado em duas etapas, onde a primeira foi realizar a aplicação do método PRISMA para revisão de literatura e em seguida um estudo aprofundado a fim de responder os dois objetivos definidos para este estudo.

3.3.1 Aplicação do método PRISMA

A estruturação do trabalho seguiu a abordagem do PRISMA para realização da revisão literatura, bem como os passos descritos por (MOHER *et al.*, 2009). Portanto, iniciou-se a seleção dos trabalhos científicos realizando a busca na base de dados utilizando a seguinte lógica de pesquisa: ("*resilient supply chain**") and ("*resilience measurement*" or "*resilience*"). Os bancos de dados selecionados para busca foram Scopus e Web of Science.

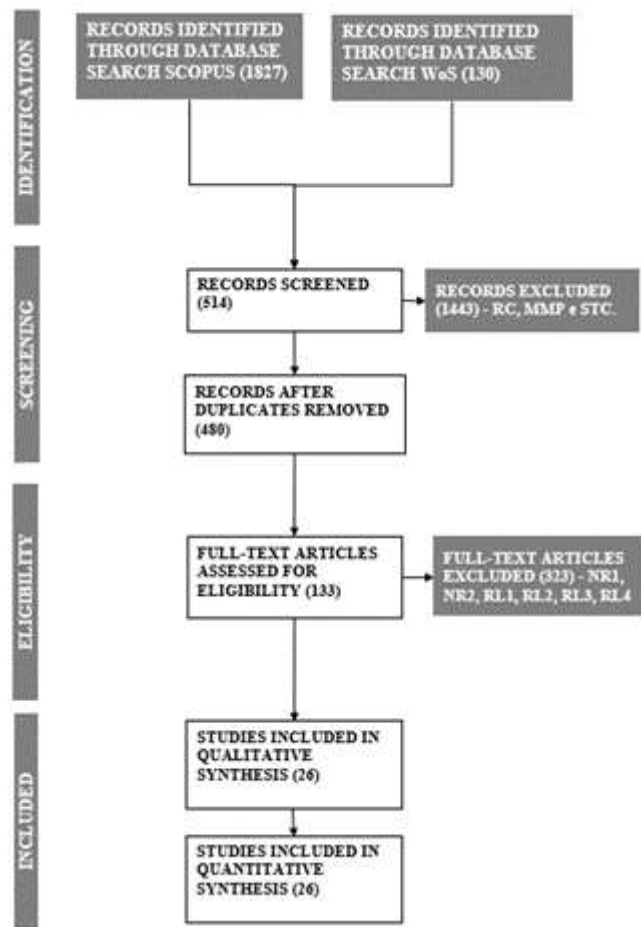
O processo de inclusão e eliminação dos trabalhos científicos seguiu critérios baseados nos objetivos deste trabalho, conforme apresentado na Figura 1, seguindo a definição proposta por Liao *et al.* (2017) e a Figura 2 apresenta o passo a passo seguido na metodologia PRISMA.

Figura 1 – Critérios de inclusão e exclusão dos documentos

	Critério	Explicação
Inclusão	Intimamente relacionado (RC)	Os esforços de pesquisa do artigo são explicitamente dedicados a resiliência na cadeia de suprimentos. Período de tempo: anterior ao dia 11/11/2021; Assunto: Engenharia; Tipo de Documento: Article, Conference Paper and Review; Língua inglesa.
	Motivo do mecanismo de pesquisa (MMP)	O artigo possui apenas o título, o resumo e as palavras-chave em inglês, mas não o texto completo.
	Sem texto completo (STC)	Um artigo sem o texto completo.
	Não relacionado (NR)	NR1: Artigo não é um artigo acadêmico. NR2: O trabalho não está alinhado com "cadeia de suprimentos resiliente".
Exclusão	Relacionado livremente (RL)	O artigo não se concentra na discussão de cadeia de suprimentos resiliente. Em que: RL1: cadeia de suprimentos resiliente é usada apenas como exemplo de fato; RL2: cadeia de suprimentos resiliente é usada apenas como parte de sua direção de pesquisa futura; RL3: cadeia de suprimentos resiliente é usada apenas como expressão citada; RL4: cadeia de suprimentos resiliente é usada apenas em palavras-chave e/ou referências;

Fonte: Adaptado pelos autores de Liao *et al.* (2017)

Figura 2 – Fluxograma PRISMA que relata as diferentes fases da revisão sistemática da literatura



Fonte: Adaptado pelos autores de Moher *et al.* (2009)

3.3.2 Análise de conteúdo

Com base nos 26 artigos selecionados, é apresentado o conceito da resiliência na CS e o objetivo desta pesquisa é respondido nesta seção.

A resiliência na cadeia de suprimentos pode ser descrita como a capacidade do sistema de antecipar, detectar e se defender contra riscos. Também, como a capacidade de uma rede da CS evitar interrupções ou se recuperar rapidamente dela. Os processos resilientes são flexíveis, ágeis e devem ser adaptáveis conforme o estado desejado, podendo ser diferente do original (BRUSSET; TELLER, 2017; LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020). A resiliência da CS de uma organização é a manifestação de interdependência entre a cultura de gestão de risco, agilidade, conectividade e compartilhamento de informações (KUMAR; ANBANANDAM, 2020), bem como a visibilidade, colaboração e confiança (DUBEY et al., 2019a; KUMAR; ANBANANDAM, 2020).

O conceito de CS resiliente tem sido utilizado como estratégia para em um primeiro momento analisar a continuidade das redes da CS e, no outro momento, realizar as mudanças operacionais nos processos para reduzir sua vulnerabilidade a distúrbios (EKANAYAKE et al., 2020). A resiliência na CS pode promover a melhoria da produtividade, confiabilidade ou a redução do risco na CS (AL NAIMI et al., 2021).

As estratégias de resiliência para aumentar a capacidade e reduzir a vulnerabilidade e riscos da CS são classificadas em proativas e reativas (ALI; NAGALINGAM; GURD, 2017; LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020). A capacidade de backup e estoque, aumento da segurança, incentivos econômicos de fornecimento, construção de relacionamento com fornecedores, previsão de demanda, compartilhamento de informações, etc. são exemplos dessas estratégias (LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020). As estratégias proativas planejam e projetam a rede da CS para antecipar as interrupções inesperadas, já as estratégias reativas são a capacidade de identificar as fontes e impactos dos riscos e se adaptar ao impacto da interrupção e se ajustar conforme a ágil e eficiente recuperação. Planos de contingência devem ser implementados para a estabilização e recuperação durante a interrupção a fim de garantir a continuidade do fornecimento e evitar impactos de longo prazo (TAN; ZHANG; CAI, 2019).

A CS resiliente é dividida em três fases, a fase da antecipação, a fase da resistência e a fase de resposta e recuperação, que auxiliam os gestores a examiná-la e a resistir as interrupções (SINGH et al., 2019). Uma nova e importante dimensão do desempenho do sistema sob incerteza surge, a capacidade de resiliência. Que consiste no aperfeiçoamento de recursos de resiliência que possibilitam o aumento da capacidade de um sistema de absorver, adaptar e restaurar-se após a interrupção. Portanto, as três linhas de defesa, são (HOSSEINI; IVANOV; DOLGUI, 2019):

Capacidade de absorção: é a primeira linha de defesa, está relacionada a todas as ações implantadas postas em prática antes da ocorrência da interrupção;

Capacidade adaptativa: é o grau em que o sistema pode se adaptar e superar a interrupção ocorrida, por meio da implementação de práticas operacionais não padronizadas sem quaisquer atividades de recuperação;

Capacidade restauradora: a terceira e última linha de defesa, é a capacidade de um sistema ser restaurado de forma rápida e eficiente.

As análises qualitativas e quantitativas das estratégias de mitigação de risco são essenciais para reduzir, monitorar e mitigar riscos da CS (RAJESH, 2020). As estratégias qualitativas de resiliência têm se concentrado nas fontes de riscos e nos impulsionadores da vulnerabilidade da CS, por exemplo base de fornecimento flexível, precificação dinâmica e

gerenciamento da demanda. Em seguida, as quantitativas estudaram estratégias de mitigação ou resposta, buscando estratégias de preparação ou redundância, por exemplo política de estoque ideal, avaliação de riscos e flexibilidade (NAMDAR et al., 2018).

A resiliência externa, resiliência do fornecedor e do cliente, são um fator relevante para garantir a sobrevivência sob interrupções, por manter o fornecimento e a demanda. Desta forma, influenciando positivamente o desempenho da CS e afirmando sua importância na mitigação de interrupções da CS (GU; YANG; HUO, 2021).

O desempenho da CS é avaliado por indicadores chave, como lucro, receita, custo total e, o principal, tempo de espera (SINGH et al., 2021). A melhoria do desempenho pode ser alcançada com a sinergia obtida com a seleção de um conjunto de estratégias de resiliência em combinações estratégicas, como exemplo, para responder de forma reativa a uma interrupção utilizamos o compartilhamento de estoque e pode ser complementado com uma estratégia proativa, como a fortificação da instalação, para uma melhor resposta (ALIKHANI; TORABI; ALTAY, 2021).

Entretanto, os indicadores-chaves financeiros são resultados de indicadores-chaves não financeiros, como exemplo tempo de espera de pedido e entrega, nível de estoque e satisfação do cliente. Portanto, a definição destes se faz essencial para o acompanhamento e monitoramento das estratégias de resiliência inseridas na CS (KARL et al., 2018).

Na Figura 3 são apresentados os fatores que cada um dos artigos selecionados estabelece como estratégia para alcançar ou aprimorar a resiliência. A Flexibilidade e a Colaboração são consideradas por 65% dos trabalhos, por tanto sendo os fatores mais recorrentes na literatura estudada que influenciam para uma CS resiliente. Em seguida, a visibilidade com 62% de indicação do total dos trabalhos.

Figura 3 – Fatores de resiliência na CS

FATORES	LITERATURA																								Definição				
	(NANDAR et al., 2018)	(MACKAY et al., 2019)	(SINGH et al., 2019)	(TAN et al., 2019)	(DUBEY et al., 2019b)	(LOHMER et al., 2020)	(CHEN et al., 2020)	(EKANAYAKE et al., 2020)	(HAN et al., 2020)	(RAJESH, 2020)	(KUMAR; ANBANANDAM, 2020)	(HOSSEINI; IVANOV; DOLGUL, 2019)	(DUBEY et al., 2019a)	(ALDRIGHETTI et al., 2021)	(MUBARIK et al., 2021)	(ALIKHANI et al., 2021)	(GU; YANG; HUO, 2021)	(AL NAIMI et al., 2021)	(LIU et al., 2018)	(ALI et al., 2017)	(BRUSSET; TELLER, 2017)	(SPESKE; BIRKEL, 2021)	(RAZAK; HENDRY; STEVENSON, 2021)	(SHEKARIAN; MELLAT, 2021)		(DUONG; CHONG, 2020)	(KARL et al., 2018)	Frequência	
COLABORAÇÃO	X		X		X	X		X	X	X	X	X	X			X		X		X		X	X	X	X	X	65%	Capacidade de trabalhar efetivamente com outras partes para benefício mútuo (EKANAYAKE et al., 2020).	
FLEXIBILIDADE	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X				X		X			X		X	X	X	X	X	65%	A capacidade de uma cadeia de abastecimento de se ajustar de acordo com as necessidades de seus parceiros e as condições ambientais no menor espaço de tempo (SINGH et al., 2019).
VISIBILIDADE	X		X		X	X			X	X	X	X	X		X			X		X		X	X		X	X	X	62%	É a capacidade de visualizar as condições dos inventários, demanda e oferta do início ao fim da cadeia de suprimentos (SINGH et al., 2019).
AGILIDADE			X			X	X		X		X	X						X	X						X		X	38%	A capacidade de reagir rapidamente a uma mudança na oferta e na demanda (SINGH et al., 2019).
REDUNDANCIA		X	X	X		X	X		X	X															X		X	35%	Capacidade adicional (produção, transporte, estoque e instalação de armazenamento) que pode rapidamente substituir perdas durante eventos inesperados (KARL et al., 2018).
CAPACIDADE/COMPARTILHAMENTO DE INFORMAÇÕES			X							X	X	X					X	X									X	27%	Informações relevantes compartilhadas eficaz e eficientemente entre os parceiros da cadeia de suprimentos podem melhorar a colaboração, mantendo a transparência e construindo confiança (AL NAIMI et al., 2021).
VELOCIDADE			X																			X	X			X	15%	A velocidade refere-se à rapidez com que um SC pode responder e se recuperar de uma interrupção inesperada (RAZAK; HENDRY; STEVENSON, 2021).	
CULTURA DE GESTÃO DE RISCO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS			X															X	X								X	15%	Filosofia organizacional geral que coloca a gestão de riscos como prioridade (LIU et al., 2018).
CONFIANÇA					X								X					X									X	15%	Confiança entre os participantes da cadeia de suprimentos, o que promove maior cooperação, redução de conflitos, melhor integração e tomada de decisões em condições de incerteza (KARL et al., 2018).
ROBUSTEZ			X											X				X									X	15%	Capacidade de resistir às mudanças sem adaptação da sua configuração inicial (AL NAIMI et al., 2021).
SEGURANÇA			X					X		X																	X	15%	Desenvolver a segurança nas operações significa proteger as empresas contra diferentes tipos de causadas pelo homem - ciberataques ou ataques físicos (KARL et al., 2018).
SOLIDEZ FINANCEIRA								X										X									X	12%	Capacidade de absorver as flutuações no fluxo de caixa (EKANAYAKE et al., 2020).
ADAPTABILIDADE			X					X										X										12%	Capacidade de adequação das operações em resposta a interrupções ou oportunidades (EKANAYAKE et al., 2020).
CONSCIÊNCIA/SENSIBILIDADE			X																							X	8%	8%	Sensibilidade pode ser definida como antecipação da demanda real. A conscientização inclui a compreensão do ajuste da oferta às novas condições e objetivos (SINGH et al., 2019).
POSICIONAMENTO DE MERCADO			X					X																				8%	Status de uma organização ou seus serviços/produtos em mercados específicos (EKANAYAKE et al., 2020).
CONTROLE DE RISCO/COMPARTILHAMENTO DE RECEITAS			X															X										8%	Compartilhar o risco e a receita através das cadeias de suprimentos é altamente desejável por contribuir na colaboração entre os parceiros (AL NAIMI et al., 2021).
RECUPERAÇÃO								X										X										8%	A capacidade de se recuperar de interrupções e retornar a um estado normal (AL NAIMI et al., 2021).
PROJETO DE REDE DA CADEIA DE SUPRIMENTOS			X																							X	8%	8%	O projeto da cadeia de suprimentos é aprimorado desenvolvendo a administração do aprendizado na fase de pré-distúrbio através de práticas, como, instrução e preparação (SINGH et al., 2019).
CAPACIDADE								X																				4%	Disponibilidade de recursos para permitir a produção contínua (EKANAYAKE et al., 2020).
EFICÁCIA								X																				4%	Capacidade de produzir resultados com recursos mínimos (EKANAYAKE et al., 2020).
ANTECIPAÇÃO								X																				4%	Capacidade de detectar eventos potencialmente disruptivos futuros (EKANAYAKE et al., 2020).
DISPERSÃO								X																				4%	Descentralização de recursos e clientes (EKANAYAKE et al., 2020).
PARCERIA PÚBLICO-PRIVADA			X																									4%	A parceria público-privada pode ajudar no pós-disrupção na cadeia de suprimentos devido à relação interpessoal e à capacidade social. Tais práticas podem ser adicionalmente encorajadas através da construção de confiança e da utilização de processos de co-criação (SINGH et al., 2019).
SUSTENTABILIDADE			X																									4%	Utilização de recursos capazes de mitigar os problemas atuais sem uso dos recursos que devem ser utilizados pelas idades futuras para mitigar seus próprios problemas (SINGH et al., 2019).

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

3.3.2.1 Flexibilidade

A flexibilidade é o construto que denota a habilidade de mobilizar recursos rapidamente quando necessário (EKANAYAKE et al., 2020). Também definida como, a capacidade de se ajustar e adaptar a uma interrupção rapidamente, ao invés de apenas suportar os danos da interrupção. A flexibilidade é um meio de combater a falta de estabilidade e previsibilidade (MACKAY; MUNOZ; PEPPER, 2019). Pode ser atingida pela terceirização de negócios para outros fabricantes, permitindo-os produzir os produtos que os fabricantes precisam, ou seja, realizando uma aquisição de fonte dupla. Entretanto, a produção não pode ser iniciada imediatamente após a interrupção (CHEN et al., 2020). A flexibilidade do contrato de fornecimento fornece a utilização do estoque e capacidade por meio de relações colaborativas com os parceiros (RAJESH, 2020). Existem diferentes tipos de linha de flexibilidade que podem melhorar a CS resiliente, dentre elas tem-se transporte flexível, base de fornecimento flexível e flexibilidade de satisfação do pedido (SINGH; SONI; BADHOTIYA, 2019). Portanto, a flexibilidade cria a CS resiliente, aprimorando a adaptabilidade imediata durante uma interrupção (SHEKARIAN; MELLAT PARAST, 2021).

3.3.2.2 *Colaboração*

A colaboração na CS é definida pelo planejamento e execução das operações da CS em conjunto por duas ou mais empresas autônomas obtendo benefício mútuo, bem como à troca de informações e a aplicação de conhecimento compartilhado a fim de reduzir a incerteza, melhorar a visibilidade e aumentar a competitividade (HAN; CHONG; LI, 2020; SHEKARIAN; MELLAT PARAST, 2021; SINGH; SONI; BADHOTIYA, 2019). Em geral, a confiança e o compartilhamento de informações são atributos base para um ambiente colaborativo, bem como práticas contratuais e econômicas, práticas conjuntas, projeto da CS, gestão de relacionamento, práticas de avaliação e de governança. A colaboração eficiente, baseada na tecnologia Blockchain por exemplo, fornece uma significativa melhoria na resiliência da CS (DUONG; CHONG, 2020; LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020).

A colaboração promove uma ampla integração na CS, possibilitando uma sincronização de decisões e alinhamento de incentivos que são essenciais para responder com sucesso a interrupções na CS (SHEKARIAN; MELLAT PARAST, 2021). A colaboração oferece suporte a níveis mais altos de serviço, visibilidade, flexibilidade e tempos de ciclos mais baixos, portanto, de grande importância a CS resiliente (DUONG; CHONG, 2020).

3.3.2.3 *Visibilidade*

A visibilidade é referida como o conhecimento do status dos recursos operacionais atuais na CS e no seu ambiente (EKANAYAKE et al., 2020). É definida como a extensão em que todos os atores ao longo das cadeias de suprimentos têm uma compreensão compartilhada e acesso às informações relacionadas ao produto que eles solicitam, sem perda, ruído, atraso ou distorção (MUBARIK et al., 2021; TAN; ZHANG; CAI, 2019).

A visibilidade na CS possibilita o gerenciamento dos riscos potenciais e a redução dos efeitos adversos da ruptura (RAZAK; HENDRY; STEVENSON, 2021) bem como, pode melhorar a resiliência da CS fornecendo uma maior compreensão dos processos de fornecimento da empresa, permitindo a avaliação de práticas de aquisição eficaz e elevando a preparação e resposta da CS, bem como possibilita uma melhor negociação de contratos de aquisição, eliminação de gargalos e atrasos por meio da melhoria na sincronização do processo de fornecimento (MUBARIK et al., 2021; TAN; ZHANG; CAI, 2019). Da mesma forma, de acordo com os autores anteriores, facilita a adoção de abordagens de gerenciamento da qualidade que resulta em um maior controle do processo, trazendo agilidade operacional e capacidade de resposta na CS. Em resumo, obtém melhoria na tomada de decisão, na capacidade de resposta e no desempenho operacional da CS reduzindo a probabilidade e o impacto de uma interrupção.

Ela envolve o uso de tecnologia da informação para permitir a transparência das informações e a consciência da situação atual da CS (HAN et al., 2020). Permite aos gestores a oportunidade de reagir rapidamente a interrupções ou influências perturbadoras em vista de uma avaliação contínua e exata (SINGH et al., 2019). Ela melhora a resiliência da CS e leva a vantagem competitiva por meio da capacidade analítica de dados (DUBEY et al., 2019b).

3.4 CONCLUSÃO

Este artigo investigou o cenário da resiliência na CS, trazendo uma perspectiva de importantes temas no assunto com o objetivo de apresentar o cenário atual dos estudos científicos envolvendo resiliência na CS. Por meio da Revisão da Literatura conduzida, verificou-se que o contexto da resiliência na CS está em constante evolução.

O método PRISMA, que foi utilizado como guia para realização dessa pesquisa, demonstrou ser de fácil aplicação e possibilitou uma análise bem estruturada dos critérios. Entretanto, esta pesquisa apresenta limitações, como a análise de trabalhos publicados apenas

em periódicos na língua inglesa, podendo ter afetado os resultados quanto a estudos envolvendo o cenário brasileiro. Assim, sugere-se que os resultados desse trabalho possam ser expandidos para uma busca envolvendo bases de periódicos diferentes além de adoção de outras palavras-chave.

Finalmente, a contribuição do trabalho foi, por meio da análise, identificar os três fatores que são considerados essenciais para o projeto e melhoria da resiliência na CS. Os fatores com maior frequência de citação, na literatura base deste estudo, foram flexibilidade, colaboração e visibilidade.

REFERÊNCIAS

AL NAIMI, M. et al. A systematic mapping review exploring 10 years of research on supply chain resilience and reconfiguration. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 0, n. 0, p. 1–28, 2021.

ALI, I.; NAGALINGAM, S.; GURD, B. Building resilience in SMEs of perishable product supply chains: enablers, barriers and risks. **Production Planning and Control**, v. 28, n. 15, p. 1236–1250, 2017.

ALIKHANI, R.; TORABI, S. A.; ALTAY, N. Retail supply chain network design with concurrent resilience capabilities. **International Journal of Production Economics**, v. 234, n. May 2020, p. 108042, 2021.

BRUSSET, X.; TELLER, C. Supply chain capabilities, risks, and resilience. **International Journal of Production Economics**, v. 184, n. June 2016, p. 59–68, 2017.

CHAMEKH, M. et al. Secured distributed IoT based supply chain architecture. **Proceedings - 2018 IEEE 27th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises**, WETICE 2018, p. 203–208, 2018.

CHEN, L.; DUI, H.; ZHANG, C. A resilience measure for supply chain systems considering the interruption with the cyber-physical systems. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 199, n. December 2019, p. 106869, 2020.

DUBEY, R. et al. Antecedents of Resilient Supply Chains: An Empirical Study. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 66, n. 1, p. 8–19, 2019a.

DUBEY, R. et al. Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience. **International Journal of Production Research**, v. 0, n. 0, p. 1–19, 2019b.

DUONG, L. N. K.; CHONG, J. Supply chain collaboration in the presence of disruptions: a literature review. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 11, p. 3488–3507, 2020.

EKANAYAKE, E. M. A. C.; SHEN, G. Q. P.; KUMARASWAMY, M. M. Identifying supply chain capabilities of construction firms in industrialized construction. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–19, 2020.

GU, M.; YANG, L.; HUO, B. The impact of information technology usage on supply chain resilience and performance: An ambidexterous view. **International Journal of Production Economics**, v. 232, n. December 2019, p. 107956, 2021.

HAN, Y.; CHONG, W. K.; LI, D. A systematic literature review of the capabilities and performance metrics of supply chain resilience. **International Journal of Production Research**, p. 1–26, 2020.

HOSSEINI, S.; IVANOV, D.; DOLGUI, A. Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 125, n. February, p. 285–307, 2019.

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**, v. 136, n. March, p. 101922, 2020.

IVANOV, D.; DOLGUI, A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020.

KARL, A. A. et al. Supply chain resilience and key performance indicators: A systematic literature review. **Production**, v. 28, 2018.

KAUPPI, K. et al. Managing country disruption risks and improving operational performance: risk management along integrated supply chains. **International Journal of Production Economics**, v. 182, n. July 2015, p. 484–495, 2016.

KUMAR, S.; ANBANANDAM, R. Impact of risk management culture on supply chain resilience: An empirical study from Indian manufacturing industry. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability**, v. 234, n. 2, p. 246–259, 2020.

LIAO, Y. et al. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3609–3629, 2017.

LIU, C. L. et al. Supply chain resilience, firm performance, and management policies in the liner shipping industry. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 110, p. 202–219, 2018.

LOHMER, J.; BUGERT, N.; LASCH, R. Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. **International Journal of Production Economics**, v. 228, n. September 2019, p. 107882, 2020.

LONG, Q. Distributed supply chain network modelling and simulation: Integration of agent-based distributed simulation and improved SCOR model. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 23, p. 6899–6917, 2014.

MACKAY, J.; MUNOZ, A.; PEPPER, M. Conceptualising redundancy and flexibility towards supply chain robustness and resilience. **Journal of Risk Research**, v. 0, n. 0, p. 1–21, 2019.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009.

MUBARIK, M. S. et al. Resilience and cleaner production in industry 4.0: Role of supply chain mapping and visibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 292, p. 126058, 2021.

NAMDAR, J. et al. Supply chain resilience for single and multiple sourcing in the presence of disruption risks. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 6, p. 2339–2360, 2018.

OH, S.; MOON, H. C.; ZHONG, Y. Contingency management and supply chain performance in Korea: A covid-19 pandemic approach. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 23, p. 1–15, 2020.

RAJESH, R. A grey-layered ANP based decision support model for analyzing strategies of resilience in electronic supply chains. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 87, n. June 2016, p. 103338, 2020.

RAZAK, G. M.; HENDRY, L. C.; STEVENSON, M. Supply chain traceability: a review of the benefits and its relationship with supply chain resilience. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–21, 2021.

SABOUIHI, F.; PISHVAEE, M. S.; JABALAMELI, M. S. Resilient supply chain design under operational and disruption risks considering quantity discount: A case study of pharmaceutical supply chain. **Computers and Industrial Engineering**, v. 126, n. June, p. 657–672, 2018.

SHEKARIAN, M.; MELLAT PARAST, M. An Integrative approach to supply chain disruption risk and resilience management: a literature review. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 24, n. 5, p. 427–455, 2021.

SINGH, C. S.; SONI, G.; BADHOTIYA, G. K. Performance indicators for supply chain resilience: review and conceptual framework. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 15, n. s1, p. 105–117, 2019.

SINGH, S. et al. Impact of COVID-19 on logistics systems and disruptions in food supply chain. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 7, p. 1993–2008, 2021.

SPIESKE, A.; BIRKEL, H. Improving supply chain resilience through industry 4.0: A systematic literature review under the impressions of the COVID-19 pandemic. **Computers and Industrial Engineering**, v. 158, n. June, p. 107452, 2021.

TAN, W. J.; ZHANG, A. N.; CAI, W. A graph-based model to measure structural redundancy for supply chain resilience. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 20, p. 6385–6404, 2019.

VLACHOS, D. et al. Building robust supply chains by reducing vulnerability and improving resilience. **International Journal of Agile Systems and Management**, v. 5, n. 1, p. 59–81, 2012.

WEI, X.; PRYBUTOK, V.; SAUSER, B. Review of supply chain management within project management. **Project Leadership and Society**, v. 2, p. 100013, 2021.

4 ARTIGO 2 - VISIBILITY MODEL FOR ENHANCING SUPPLY CHAINS RESILIENCE

Este artigo foi aceito para publicação na revista IFAC-PapersOnLine, em 2022.

Abstract

Supply chains have experienced several incidents that put their performance at risk in recent years, the most recent example being the COVID-19 pandemic that threatened global supply networks. Assessing the vulnerability of supply chains becomes essential, as well as developing operational and continuity plans to mitigate the consequences of disruptions and ensure the continuation of critical processes. Resilience is a strategy to reduce the vulnerability of supply chains, as it provides the ability to avoid disruption or quickly recover from it. Therefore, this research aims to propose a model that contributes to improving resilience in supply chains by integrating Industry 4.0 technologies such as Digital Twin, Internet of Things, and Blockchain that provide end-to-end supply chain visibility.

Keywords: Supply Chains; Networks; Supply Chain Management; Risk Management; Digital Twin; Resilience; Supply Chain Resilient.

4.1 INTRODUCTION

In recent years, globalization and lean manufacturing have caused an increase in supply chain risks. Due to the search for lower costs in product's production, companies seek materials and components around the world, maintain lower inventories, increase agility in response to market changes, and simplify quality costs (TAN; ZHANG; CAI, 2019). Supply chains have experienced several incidents that put their performance at risk in recent years, the most recent example being the COVID-19 pandemic that threatened global and interconnected supply networks (LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020) and the situation was aggravated in 2021 with the Suez Canal crisis.

Thus, it arises the need for attention in modern supply chains in implementing proactive approaches that contribute to identify, measure, mitigate and monitor supply chain risks (RAJESH, 2020). Supply chain resilience can be defined as the supply chain adaptive

ability to prepare for unexpected events, respond to disruptions and recover from them while maintaining operations continuity within expected levels of connection and control over structure and function (EKANAYAKE; SHEN; KUMARASWAMY, 2020).

Resilience in the supply chain (SC) can be described as the system ability to anticipate, detect, and defend against risks. Also, it can be described as the supply chain network ability to avoid disruption or quickly recover from it. Resilient processes are flexible, agile, and must be adaptable as the desired state may be different from the original (BRUSSET; TELLER, 2017; LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020). The organization's supply chain resilience is the manifestation of interdependence between risk management culture, agility, connectivity, and information sharing (KUMAR; ANBANANDAM, 2020), as well as visibility, collaboration and trust (DUBEY et al., 2019; KUMAR; ANBANANDAM, 2020).

Improved resilience can be achieved with combinations between digital technologies, for example, Digital Twins, and factors that contribute to resilience, for example, flexibility and agility, where the integration of these two parts provides support for dealing with and recovering from disruptions, as well as for quantifying their impact (HOSSEINI; IVANOV; DOLGUI, 2019; SPIESKE; BIRKEL, 2021).

Time is one of the most important constraints in recovery operations in practice, because problems concerning SC outages deal with time-dependent configurations, as an example dynamic inventory control. The digital twin can contribute by showing the propagation and impact of the outage, the efficient testing of the recovery policy and the adaptation of contingency plans according to each situation by representing the state of the network at any time (HOSSEINI; IVANOV; DOLGUI, 2019). In this context, it is understood that an approach from digital twins that takes into account time constraints can contribute to the increasingly evident need to improve the resilience of SC. Additionally, the use of agent-based simulation can contribute to the analysis of possible consequences arising from outages in supply chains, thus enabling more agile decision-making and minimizing the negative effects.

4.2 BACKGROUND

A SC is considered a meta-organization composed of interdependent organizations that integrate business systems and build interorganizational relationships. Therefore, it involves all the organizations belonging to design, manufacturing, distribution, marketing, and retailing product or service process, making its management complex and challenging (OH; MOON; ZHONG, 2020).

The supply chain network tasks are: to manage the relationships between the different parties involved, such as suppliers, manufacturers, distributors and customers, item tracking and process control (CHAMEKH, 2018). The supply chain network is essentially dynamic information flow-oriented with the material flow and cash flow operation (LONG, 2014).

Management of the integrated supply chain that seeks to make it agile and adaptable needs to consider the influence of human, technological, and organizational aspects on the interfaces with the processes that support its development and to promote trust and collaboration as requirements for improved performance (REITER et al., 2011).

The resilient supply chain concept has been used as a strategy first to analyze the SC networks continuity and then to make operational changes in the processes to reduce their vulnerability to disruptions (EKANAYAKE; SHEN; KUMARASWAMY, 2020). Supply chain resilience can promote improved productivity, reliability or reduced risk in the supply chain (AL NAIMI et al., 2021).

Resilience strategies to increase capacity and reduce vulnerability and supply chain risks are classified into proactive and reactive (ALI; NAGALINGAM; GURD, 2017; LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020). Backup and inventory capacity, increased security, economic supply incentives, supplier relationship building, demand forecasting, information sharing, etc. are examples of such strategies (LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020). Proactive strategies plan and design the supply chain network to anticipate unexpected disruptions, while reactive strategies are the ability to identify risks sources and impacts and to adapt to the disruption impact and adjust accordingly for agile and efficient recovery. Contingency plans must be implemented for stabilization and recovery during disruption to ensure supply continuity and avoid long-term impacts (TAN; ZHANG; CAI, 2019).

Risk mitigation strategies to improve resilience should be based on digitization, inventory management, redundancy, flexibility, collaboration and end-to-end visibility of SC (BURGOS; IVANOV, 2021; VLACHOS et al., 2012). The application of resilience factors leads to better results, the factors visibility and redundancy are considered the most important (AZADEH et al., 2014).

According to Azadeh et al. (2014), visibility implies a clear view of inventories, demand and supply conditions, and production and procurement schedules; redundancy is the strategy of additional capacity and/or inventory at potential congestion points and flexibility refers to the system's ability to detect disruption, as well as take on, resolve, and exploit unexpected emergencies.

Visibility is referred to the status knowledge of current operational resources in the supply chain and its environment (EKANAYAKE; SHEN; KUMARASWAMY, 2020; EKANAYAKE, 2020). It is defined as the extent to which all actors along supply chains have a shared understanding of, and access to, the information related to the product they request, without loss, noise, delay, or distortion (MUBARIK et al., 2021; TAN; ZHANG; CAI, 2019). In this way, visibility enables better understanding of disruption and taking specific actions based on existing priorities (BURGOS; IVANOV, 2021).

Supply chain visibility enables you to manage potential risks and reduce the disruption adverse effects (RAZAK; HENDRY; STEVENSON, 2021) as well as can improve supply chain resilience by providing a greater understanding of the company's supply processes, enabling an effective procurement practices evaluation and enhancing supply chain preparedness and responsiveness, as well as enable better negotiation of procurement contracts, bottlenecks and delays elimination through an improved supply process synchronization (MUBARIK et al., 2021; TAN; ZHANG; CAI, 2019). Similarly, according to the previous authors, it facilitates quality management approaches adoption that results in greater process control, bringing operational agility and responsiveness in the supply chain. In short, it achieves improvement in decision-making, responsiveness, and operational performance in the supply chain by reducing the interruption chance and impact.

This involves the use of information technology to enable information transparency and supply chain situational awareness (HAN; CHONG; LI, 2020); it also gives managers the opportunity to react quickly to disruptions or disruptive influences out of a continuous and accurate evaluation (SINGH; SONI; BADHOTIYA, 2019). Moreover, it improves supply chain resilience and drives competitive advantage through data analytics (DUBEY et al., 2019b).

The supply chain visibility characteristics are classified into three sets, which are: automated characteristics, informational characteristics, and transformational characteristics. Automated information capture enables the continuous tracking of the object and the lead time measurement of each movement. Providing the organization with real-time events tracking that occur throughout the movement, enables unusual events and process inefficiencies identification. However, information sharing can also be done manually, by phone, e-mail and fax contacts (SOMAPA; COOLS; DULLAERT, 2018).

In order to facilitate the application of strategies related to supply chain resilience enhancement factors, Industry 4.0 (I4.0)-related technologies that are categorized as enabling technologies can be put to use (HOSSEINI; IVANOV; DOLGUI, 2019; SPIESKE; BIRKEL, 2021). Along these lines, visibility is one of the most critical factors of supply chain resilience

and can be supported by technologies such as the Internet of Things (IoT), Blockchain and Big Data Analytics (BDA) (BURGOS; IVANOV, 2021; SPIESKE; BIRKEL, 2021).

IoT technology consists of physical objects equipped with digital technology to interact autonomously with each other, with human users or other digital systems internal or external to the organization. It uses monitoring devices such as radiofrequency identifiers (RFID), wireless sensors, barcode readers, etc. and provides item traceability, improving overall risk knowledge and its strategies (RAZAK; HENDRY; STEVENSON, 2021; SPIESKE; BIRKEL, 2021).

Blockchain promotes SC visibility through its features that ensure the authenticity of digital information. In this way, it enables all network participants to have access to valid information, facilitating coordination and collaboration among the various transaction partners (KURPJUWEIT et al., 2021). In this vein, because blockchain has the ability to filter, classify, and securely store data, providing improved communication between participants and greater transparency and accountability, it contributes to better risk management and, consequently, improved resilience (CHOWDHURY et al., 2022).

According to the (RAZAK; HENDRY; STEVENSON, 2021; SPIESKE; BIRKEL, 2021), BDA refers to the tools, techniques, and processes combination to integrate data from different sources into actionable information to support decision-making, enabling risk events prediction, proactive response planning, and reactive control in real time.

For organizations to remain competitive in cost and service level, SC need to be adaptive, agile, and resilient and thus deal adequately with disruptions. This is possible by applying the integration of simulation methods (FRAZZON; ALBRECHT; HURTADO, 2016). In the simulation process, the model represents the main characteristics, behavior, and functions of the system. Simulation models enable two modes of use, the first as an analytical tool to predict the effect of changes in the system, and the second as a design tool that predicts the performance of new systems under various circumstances (VIEIRA et al., 2017).

Through simulation, managerial insights are provided to decision makers, which make it possible to predict operational and long-term impacts in epidemic outbreaks on SC, as well as support the development of SC pandemic plans (IVANOV; DOLGUI, 2020). According to Ivanov and Dolgui (2020), digital technologies can be used extensively to obtain real-time information about scope and scale of disruptions, their spread in the SC, and to simulate possible recovery strategies.

As a result of the SC digital twin, a new data-driven view for managing disruption risks in SC has emerged, and is formed by combining simulation, optimization, and data

analysis technologies (IVANOV et al., 2019; RYMARCZYK, 2020). A digital twin (DT) can be defined as a simulation model that represents the physical supply chain based on actual transportation, demand, inventory and capacity data and can support planning, decision-making and control in real-time, therefore providing end-to-end supply chain visibility, improving resilience and enabling contingency testing (AGOSTINO et al., 2020; IVANOV; DOLGUI, 2020).

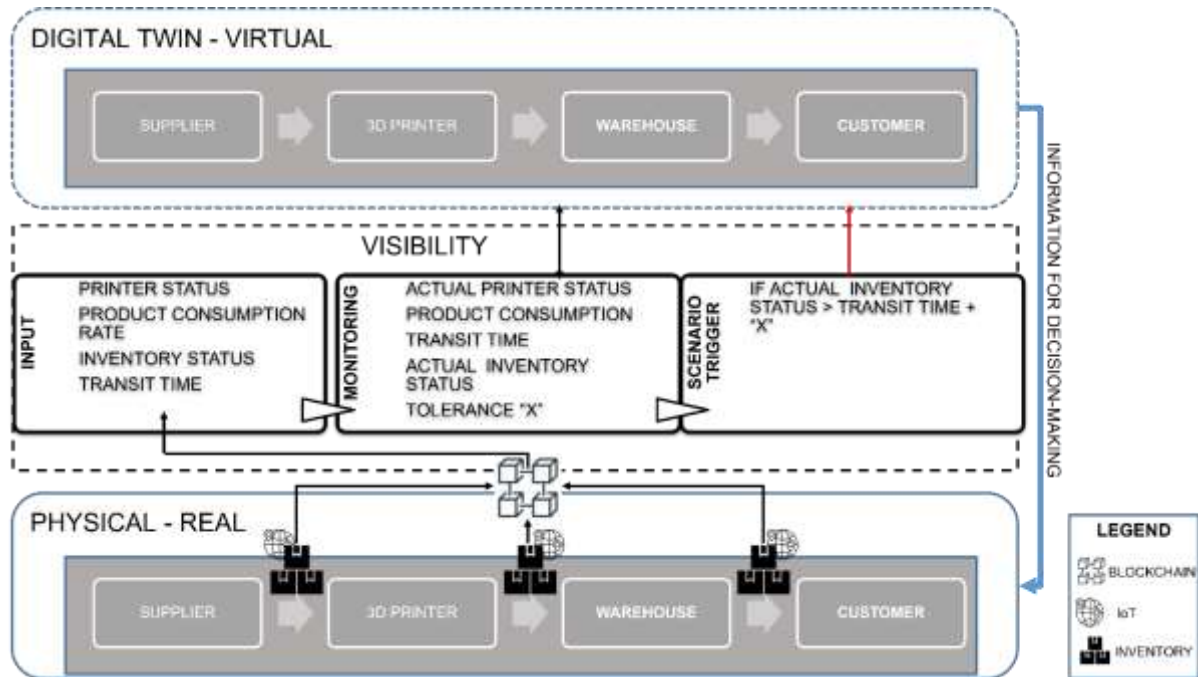
A DT also makes it possible to manage risks in supply chains, making them more reliable and sustainable in case of failure (RYMARCZYK, 2020). The integration between the virtual and physical environments promotes human-machine interaction between SC and engineers, enabling real-time information sharing between each unit and engineer, which significantly reduces lead time and provides greater management agility (WANG; WANG; LIU, 2020). A diversity of useful insights arise to managers through the creation of DT for resilience improvement, as an example the development of most critical suppliers, re-engineering of the supplier base, and improvement in order allocation (CAVALCANTE et al., 2019).

As the research has demonstrated, as well as the information found in literature, a conceptual model is proposed to provide support to decision makers in supply chain management, thus promoting the resilience improvement in supply chain.

4.3 CONCEPTUAL MODEL

Extending the findings of (PIRES et al., 2018) that presents an adaptative simulation-based optimization approach to integrated material inventory, production and transport planning and control approach, the present work proposes, based on the literature in section 2, a conceptual model for the management of the in-transit inventory based on the integration of technologies I4.0: Digital Twin, Internet of Things and Blockchain presented in Figure 1. The model presents a SC consisting of supplier, factory, warehouse and customer. Through DT is generated a virtual SC that represents faithfully and in real time the activities and physical/real SC.

Figure 1 – Conceptual model of visibility in the resilient supply chain



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

The monitoring of SC is performed by following the evolution in time and distance of stock in transit. This is possible through the tracking of products that occurs with the implementation of IoT technology in the batches of products at the time of their departure from the supplier. This technology allows access to information about the location and time of each movement. Therefore, monitoring occurs through periodic verification of the location of each lot between each link in the supply chain.

Blockchain is used to ensure the reliability of information coming from supply chain partners. In addition to product lot displacement, the material consumption rate is also monitored within the manufacturing link as it is used to support SC management through inventory policies.

The DT is added to the monitoring because it promotes the benefit of the time factor, resulting in real-time monitoring. This is possible because the DT is the tool that reads the status information of the current stock and the information generated in the monitoring of the stock in transit since its departure from the supplier until its arrival at the customer in real time, that is, at the moment that the status of the stock in transit and the status of the current stock in manufacturing are updated, the DT receives the information and realizes the data analysis.

This analysis has as reference the consumption of the stock according to the defined policy and the transportation schedule established at the beginning of the process by those

responsible for the activity, when a delay on the schedule is identified or there is no update on time, the presence of an interruption is indicated.

From this point on, the DT start the signal alerts, when the established transit time added the stipulated tolerance is exceeded. In this environment, the scenarios of the interruption consequence will be projected considering the current demand and inventory, the consumption rate of inputs and, then, present their possible impacts so that taking the best decision, in a timely manner, for assertive actions implementation that reduce the expected impacts, seeking to maintain the performance of SC as before the interruption.

These scenarios will be support to the managers to define the strategics exits in order of achieving the best performance considering the circumstances. This performance is monitored by key indicators, such as: cost, service level, and lead time. This way, this conceptual model it enables a SC end-to-end visibility for a better control of the inventory in transit evolution and, consequently, a more agile response in case of disruption.

4.4 CONCLUSION

With the need for a more assertive risk management for supply chain operations, the importance of increasing the level of resilience of the supply chain is understood. Therefore, this study presents visibility as an important contributing factor to the improvement of resilient supply chain.

To achieve end-to-end visibility of the chain, Digital Twin, the Internet of Things, and Blockchain are identified as enabling technologies for this factor. Thus, this paper presents a conceptual model that performs inventory flow monitoring and outage identification, in real time, along the entire chain. Providing the manager with the basis for making strategic and assertive decisions in a skillful manner, by obtaining advance knowledge of the possible consequences and having the possibility of reducing the impact of interruptions, seeking to maintain the performance of the supply chain prior to the interruption.

Regarding future work, we intend to develop a computational model of our conceptual proposal, considering scenarios of disruption generated by pandemic and operational problems in a simulation through the anyLogistix tool, which present the probable impacts of the outage.

REFERENCES

AGOSTINO, Í. R. S. et al. Using a digital twin for production planning and control in industry 4.0. **International Series in Operations Research and Management Science**, v. 289, p. 39–

60, 2020.

AL NAIMI, M. et al. A systematic mapping review exploring 10 years of research on supply chain resilience and reconfiguration. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 0, n. 0, p. 1–28, 2021.

ALI, I.; NAGALINGAM, S.; GURD, B. Building resilience in SMEs of perishable product supply chains: enablers, barriers and risks. **Production Planning and Control**, v. 28, n. 15, p. 1236–1250, 2017.

AZADEH, A. et al. Modelling and improvement of supply chain with imprecise transportation delays and resilience factors. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 17, n. 4, p. 269–282, 2014.

BRUSSET, X.; TELLER, C. Supply chain capabilities, risks, and resilience. **International Journal of Production Economics**, v. 184, n. June 2016, p. 59–68, 2017.

BURGOS, D.; IVANOV, D. Food retail supply chain resilience and the COVID-19 pandemic: A digital twin-based impact analysis and improvement directions. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 152, n. March, p. 102412, 2021.

CAVALCANTE, I. M. et al. A supervised machine learning approach to data-driven simulation of resilient supplier selection in digital manufacturing. **International Journal of Information Management**, v. 49, n. March, p. 86–97, 2019.

CHOWDHURY, S. et al. Blockchain technology adoption for managing risks in operations and supply chain management: evidence from the UK. **Annals of Operations Research**, 2022.

DUBEY, R. et al. Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience. **International Journal of Production Research**, v. 0, n. 0, p. 1–19, 2019a.

DUBEY, R. et al. Antecedents of Resilient Supply Chains: An Empirical Study. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 66, n. 1, p. 8–19, 2019b.

EKANAYAKE, E. M. A. C.; SHEN, G. Q. P.; KUMARASWAMY, M. M. Identifying supply chain capabilities of construction firms in industrialized construction. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–19, 2020.

FRAZZON, E. M.; ALBRECHT, A.; HURTADO, P. A. Simulation-based optimization for the integrated scheduling of production and logistic systems. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 1050–1055, 2016.

HAN, Y.; CHONG, W. K.; LI, D. A systematic literature review of the capabilities and performance metrics of supply chain resilience. **International Journal of Production Research**, p. 1–26, 2020.

HOSSEINI, S.; IVANOV, D.; DOLGUI, A. Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 125, n. February, p. 285–307, 2019.

IVANOV, D. et al. Digital Supply Chain Twins: Managing the Ripple Effect, Resilience, and Disruption Risks by Data-Driven Optimization, Simulation, and Visibility. In: [s.l.] Springer International Publishing, 2019. v. 276p. 309–332.

IVANOV, D.; DOLGUI, A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020.

KUMAR, S.; ANBANANDAM, R. Impact of risk management culture on supply chain resilience: An empirical study from Indian manufacturing industry. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability**, v. 234, n. 2, p. 246–259, 2020.

KURPUWEIT, S. et al. Blockchain in Additive Manufacturing and its Impact on Supply Chains. **Journal of Business Logistics**, v. 42, n. 1, p. 46–70, 2021.

LOHMER, J.; BUGERT, N.; LASCH, R. Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. **International**

Journal of Production Economics, v. 228, n. September 2019, p. 107882, 2020.

LONG, Q. Distributed supply chain network modelling and simulation: Integration of agent-based distributed simulation and improved SCOR model. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 23, p. 6899–6917, 2014.

MUBARIK, M. S. et al. Resilience and cleaner production in industry 4.0: Role of supply chain mapping and visibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 292, p. 126058, 2021.

OH, S.; MOON, H. C.; ZHONG, Y. Contingency management and supply chain performance in Korea: A covid-19 pandemic approach. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 23, p. 1–15, 2020.

PIRES, M. C. et al. Towards a simulation-based optimization approach to integrate supply chain planning and control. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 520–525, 2018.

RAJESH, R. A grey-layered ANP based decision support model for analyzing strategies of resilience in electronic supply chains. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 87, n. June 2016, p. 103338, 2020.

RAZAK, G. M.; HENDRY, L. C.; STEVENSON, M. Supply chain traceability: a review of the benefits and its relationship with supply chain resilience. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–21, 2021.

REITER, B. S. et al. An approach for the sustainable integration of production and transportation scheduling. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 10, n. 2, p. 158–179, 2011.

RYMARCZYK, J. Technologies, opportunities and challenges of the industrial revolution 4.0: Theoretical considerations. **Entrepreneurial Business and Economics Review**, v. 8, n. 1, p. 185–198, 2020.

SINGH, C. S.; SONI, G.; BADHOTIYA, G. K. Performance indicators for supply chain resilience: review and conceptual framework. **Journal of Industrial Engineering**

International, v. 15, n. s1, p. 105–117, 2019.

SOMAPA, S.; COOLS, M.; DULLAERT, W. Characterizing supply chain visibility – A literature review. **International Journal of Logistics Management**, v. 29, n. 1, p. 308–339, 2018.

SPIESKE, A.; BIRKEL, H. Improving supply chain resilience through industry 4.0: A systematic literature review under the impressions of the COVID-19 pandemic. **Computers and Industrial Engineering**, v. 158, n. June, p. 107452, 2021.

TAN, W. J.; ZHANG, A. N.; CAI, W. A graph-based model to measure structural redundancy for supply chain resilience. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 20, p. 6385–6404, 2019.

VIEIRA, G. E. et al. Evaluating the Robustness of Production Schedules using Discrete-Event Simulation. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 7953–7958, 2017.

VLACHOS, D. et al. Building robust supply chains by reducing vulnerability and improving resilience. **International Journal of Agile Systems and Management**, v. 5, n. 1, p. 59–81, 2012.

WANG, Y.; WANG, X.; LIU, A. Digital twin-driven supply chain planning. **Procedia CIRP**, v. 93, p. 198–203, 2020.

5 ARTIGO 3 – AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA APRIMORAMENTO DA RESILIÊNCIA EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Resumo

A pandemia de COVID-19 impactou as cadeias de suprimentos (CS) globalmente, afetando finanças, lead time, demanda e desempenho da produção. Para fortalecer a resiliência e a sustentabilidade das CS, é necessário considerar soluções que aumentem a segurança do sistema e permitam reagir a interrupções. Tecnologias digitais combinadas com flexibilidade e agilidade contribuem para melhorar a resiliência. Este estudo tem como objetivo avaliar o impacto no desempenho da cadeia de suprimentos de um modelo conceitual baseado em três fatores (flexibilidade, colaboração e visibilidade), que visa aprimorar a resiliência e a recuperação do desempenho da CS após a influência de uma interrupção. As estratégias definidas incluem fornecedor backup, contrato inteligente utilizando tecnologia *blockchain* e tomada de decisão apoiada por simulação em tempo real. Utilizando a ferramenta *Anylogistix*[®], foram simulados vários cenários com variações das estratégias e verificou-se que a melhor abordagem compreende uma configuração com uma única fonte principal de abastecimento, dois modais de transporte para entrega e acionamento de fornecedor backup imediatamente após a identificação da interrupção.

Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos Resiliente, Flexibilidade, Colaboração, Visibilidade, Simulação.

5.1 INTRODUÇÃO

A pandemia do COVID-19 causou um impacto significativo em várias cadeias de suprimentos (CS). Em todo o mundo, esse evento afetou diferentes dimensões das CS, incluindo, entre outros, finanças, *lead time*, mudanças na demanda e desempenho da produção. Esses reflexos atraíram a atenção de gerentes e formuladores de políticas, para melhorar a resiliência e a sustentabilidade da CS (MOOSAVI *et al.*, 2022).

A resiliência de uma empresa depende das opções que o sistema tem para reagir a interrupções, assim como da segurança desse sistema por meio de reservas de estoque, fornecedores redundantes, entre outros mecanismos associados (AZADEH *et al.*, 2014). A melhoria da resiliência pode ser alcançada pela combinação de tecnologias digitais, como por

exemplo, os Gêmeos Digitais (GD), e fatores que contribuem para resiliência, como a flexibilidade e a agilidade, onde a integração dessas duas partes fornece suporte para enfrentar e recuperar interrupções, bem como quantificar seu impacto (MOOSAVI; HOSSEINI, 2021).

Os modelos de GD são benéficos no monitoramento em tempo real de ativos físicos, fornecendo seu status e alertas por meio da previsão de um problema iminente. E tornam-se muito úteis para evitar situações críticas em organizações que tomar decisões muito rápidas (SHARMA *et al.*, 2022).

Desta forma, este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto dos fatores flexibilidade, colaboração e visibilidade, para aprimorar a resiliência e recuperar o desempenho da CS após a influência de uma interrupção com base no modelo conceitual ampliado de De Farias *et al.* (2022). As estratégias definidas para os três fatores são o fornecimento *backup*, o contrato inteligente da tecnologia *blockchain* e a simulação em tempo real (GD). Essas estratégias possibilitam um fornecimento flexível, transparência das informações entre os parceiros, maior agilidade de resposta a interrupções, bem como a avaliação do impacto da interrupção (HOU *et al.*, 2017; LOHMER *et al.*, 2020; YIN; WANG, 2018).

Os modelos de simulação contribuem para a análise das consequências de uma interrupção relacionadas às condições de mudanças temporais. Para uma avaliação mais assertiva do desempenho da CS, bem como o impacto da interrupção e sua recuperação, são necessárias medições de desempenho (MOOSAVI; HOSSEINI, 2021). Portanto, neste trabalho foram utilizados os indicadores de (i) atendimento de produto entregue no prazo, (ii) custo de manutenção de estoque, (iii) lucro e (iv) custo total.

Este estudo apresenta a contribuição do modelo, em conjunto com as estratégias que apoiam os fatores de resiliência para recuperação do desempenho da CS. Foi realizada a simulação de um cenário base com operação usual, um cenário com incidência de interrupção e 27 cenários com a aplicação do modelo e variações das estratégias.

5.2 REFERENCIAL TEÓRICO

5.2.1 Resiliência e estratégias resilientes

A resiliência é a capacidade que uma rede da cadeia de suprimentos (CS) desenvolve para evitar interrupções ou se recuperar rapidamente delas. Os processos resilientes são flexíveis, ágeis, e devem ser adaptáveis, conforme o estado desejado, podendo ser diferentes do original (LOHMER *et al.*, 2020; VLACHOS *et al.*, 2012). É necessário conhecer as estratégias

para o gerenciamento da interrupção, e construir CS resilientes, encorpando conceitos como aumentar sua agilidade, melhorar a visibilidade, aumentar a flexibilidade, redundância e colaboração entre parceiros (BELHADI *et al.*, 2021).

As estratégias para alcançar a resiliência da CS, conforme Moosavi *et al.* (2022), são classificadas em:

- i. Preparação para a interrupção: possui o objetivo de assegurar uma resposta eficaz.
- ii. Resposta à interrupção: são atividades que habilitam as operações da CS após o evento disruptivo.
- iii. Recuperação de interrupções: objetiva voltar ao estado normal do sistema, ou seja, o estado anterior ao evento.

A partir dessa classificação, diferentes estratégias podem ser consideradas, seja para serem tomadas individualmente ou de forma combinada, a depender do objetivo fim. Essas possíveis estratégias podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 – Classificação das estratégias de gerenciamento de interrupções identificadas

Estratégias de Gerenciamento de Interrupções		
Preparação	Resposta	Recuperação
Tempo de abertura/fechamento Fornecimento entrelaçado Diversificando o fornecimento Modelagem computadorizada Modelagem Interrupções Desconhecidas Fabricação local Fontes múltiplas Entrega on-line Plantio Vertical	Comunicação Resposta Situacional (Flexível) Manufatura distribuída Manufatura Aditiva Fabricação sob medida Diversificando a demanda Aumentando a produção Priorizando a demanda Regulamentando a compra Compartilhamento de informações Abastecimento local Reutilização de equipamentos	Regulamentação Governamental Apoio governamental Apoio em dinheiro Cortes de impostos

Fonte: Adaptado de Moosavi *et al.* (2022)

As estratégias podem ser classificadas, também, em proativas e reativas, onde as proativas são orientadas para tecnologias que dependem do desenvolvimento de infraestruturas técnicas, como conectividade digital, localização e regionalização de fornecimento, entre outras. As reativas usam simulação, tecnologia da informação em tempo real, tomada de decisão orientada por dados, estoque e capacidades reserva. Ainda, existem as estratégias, como desenvolvimento de recursos digitais e colaboração na CS, que podem ser proativas e reativas (BELHADI *et al.*, 2021).

De acordo com Ivanov e Dolgui (2020), as tecnologias digitais podem ser usadas extensivamente para obter informações em tempo real, sobre escopo e escala de rupturas, sua propagação na CS e para simular possíveis estratégias de recuperação. Simulação, otimização e análise de *big data* atuando no nível proativo, promovem apoio gerencial aos gestores, fornecendo dados precisos e em tempo real, para a composição de cenários aptos à análise da resiliência na CS, contribuindo assim na previsão das interrupções (IVANOV; DOLGUI, 2019). Conforme Ivanov e Dolgui (2019), no nível reativo, tecnologias digitais são utilizadas para obter informações em tempo real, e simular estratégias de recuperação, com o intuito de apoiar as estratégias de mitigação de risco e identificação dos impactos das interrupções nas finanças e no desempenho das operações.

Existem diversas tecnologias que são utilizadas na construção da resiliência, para o gerenciamento dos riscos na CS. O gêmeo digital (GD) pode ser utilizado para simular estratégias de recuperação e operações da CS, sob condições disruptivas. O *Blockchain* armazena dados gerados pela tecnologia IoT, promovendo transparência e rastreabilidade na CS (MOOSAVI *et al.*, 2022).

Uma nova visão orientada por dados para gerenciar os riscos de interrupção na CS é resultado de um GD da CS, e este é formado pela combinação das tecnologias de simulação, otimização e análise de dados (IVANOV *et al.*, 2019; RYMARCZYK, 2020). Um GD pode ser definido como um modelo de simulação que representa a CS física, com base em dados reais de transporte, demanda, estoque e capacidade, podendo ser apoio ao planejamento, à tomada de decisão e controle em tempo real.

A integração entre o ambiente virtual e o físico promove a interação homem-máquina entre a CS e engenheiros, permitindo o compartilhamento de informações em tempo real entre cada unidade e o engenheiro, o que reduz significativamente o *lead time* e fornece maior agilidade no gerenciamento (WANG *et al.*, 2020). Uma diversidade de *insights* úteis surge aos gerentes por meio da criação do GD para melhoria da resiliência, como por exemplo, o desenvolvimento da maioria de fornecedores críticos, reengenharia da base de fornecedores e melhoria na alocação de pedidos (CAVALCANTE *et al.*, 2019).

Um GD bem-sucedido, que pode ser utilizado para análise complexa de riscos na CS, desenvolvimento de planos de contingência e gerenciamento operacional mais eficiente, deve levar em conta em sua construção os fatores: design da rede e informações geográficas, parâmetros operacionais, perturbações e recuperação e impacto sobre o desempenho (IVANOV; DOLGUI, 2019). O GD atua tanto no modo pré-ruptura quanto no modo dinâmico e reativo, apoiando a tomada de decisão e permitindo a visualização de riscos da CS, avaliação

de riscos de interrupção de fornecedores, rotas de *backup* com avaliação de tempos estimados de chegada e simulação do impacto da interrupção na CS (IVANOV, 2020).

5.2.2 Fator Visibilidade

O GD fornece, portanto, visibilidade de ponta a ponta para a CS, e possibilidade de melhoria da resiliência e de testes de contingência (AGOSTINO *et al.*, 2020; IVANOV; DOLGUI, 2020). Diversas ferramentas existem para construir e rodar o GD de um componente específico. Porém, há ausência de métodos para fornecer uma compreensão sistêmica dos efeitos de um componente em um sistema geral, como uma fábrica ou rede de fábricas, considerando as conexões e dependências de seu ambiente (BÉCUE *et al.*, 2020).

A visibilidade é a capacidade de ver de ponta a ponta da CS, e requer transparência, envolvendo níveis de estoque, condições de demanda, produção e compras, entre outros (DE SA *et al.*, 2023). A visibilidade está ligada à resposta e recuperação eficazes de interrupção da CS, e evita reações exageradas, intervenções desnecessárias e decisões ineficazes em uma situação de risco (SONI; JAIN, 2011).

Conforme Ivanov e Dolgui (2020), as tecnologias de monitoramento, como sensores de *Internet of Things* (IoT), permitem a identificação de incidentes que podem comprometer o desempenho da CS, em tempo real, e estes dados podem ser incorporados a um modelo de simulação junto com dados em tempo real de outros riscos já conhecidos, como por exemplo, os riscos financeiros de terceiros. Desta forma, tecnologias IoT promovem visibilidade na CS, por sua capacidade de rastrear produtos, entregas e serviços, fornecendo apoio ao monitoramento em tempo real por meio do GD (AL-TALIB *et al.*, 2020).

De acordo com Mandal *et al.* (2016), a visibilidade possibilita o acesso a todos os acontecimentos da CS aos seus atores, exigindo maior transparência e confiança no compartilhamento de informações, para manter o relacionamento entre os parceiros. Desta forma, a CS necessita apoiar-se na colaboração, para garantir a confiança do fluxo de informação.

5.2.3 Fator Colaboração

A colaboração contribui para a redução da incerteza e prontidão para eventos, apoiando a visibilidade (SONI; JAIN, 2011). A tecnologia IoT permite a sincronização dos parceiros da CS, por meio da produtividade e entrega, devido a conectividade e automação das

atividades de colaboração (AL-TALIB *et al.*, 2020). A colaboração, por meio do compartilhamento de informações, resulta em uma melhor coordenação para aumento da velocidade de resposta à interrupção, maior agilidade e flexibilidade, redução dos custos de estoque, transporte e fabricação (JUAN *et al.*, 2022).

Uma forma de aumentar a colaboração nas CS é a partir da utilização da tecnologia de *Blockchain*. Essa tecnologia, por meio de contratos inteligentes, contribui para uma ampla integração na CS, envolvendo compartilhamento e colaboração vertical de informações, bem como a colaboração horizontal entre os parceiros da mesma camada da CS. Desta forma, compartilhando dados de demanda, capacidade ou níveis de estoque entre fornecedores, o contrato inteligente influencia positivamente na colaboração, flexibilidade e visibilidade. Isso porque, essa tecnologia fornece transparência, confiança, base de fornecimento flexível, entre outros (LOHMER *et al.*, 2020).

A validação em tempo real devido ao *Blockchain* permite melhorar o monitoramento de entregas e acelerar as operações de uma forma transparente. A integração e a confiança da CS contribuem na redução de 15% dos custos de mercadorias embarcadas, e em uma redução de 40% no tempo (AMIRI ARA *et al.*, 2022). Por meio do contrato inteligente, é possível automatizar dados, simplificar processos, melhorar a eficiência da CS e reduzir tempo.

A colaboração entre os membros promove a integração da cadeia e, por meio de tecnologias como o *Blockchain*, é possível garantir o compartilhamento e tratamento adequado da informação. Ainda, indica-se que a visibilidade, apoiada pela colaboração, fornece dados para a orientação analítica, e esta resulta em *insights* que são possíveis de serem implementados, se os membros da CS forem, em algum nível, flexíveis (ALVARENGA *et al.* 2022). Desta forma, a colaboração torna-se essencial à flexibilidade da CS (MANDAL *et al.*, 2016).

5.2.4 Fator Flexibilidade

Com uma resposta eficaz da CS, o fator flexibilidade garante que ela absorva as mudanças causadas pelo evento de risco (SONI; JAIN, 2011). A tecnologia IoT permite, no fator flexibilidade, agilidade na reconfiguração da cadeia de suprimentos (AL-TALIB *et al.*, 2020). Neste fator, pode ser adotada a estratégia que atende o estágio de aquisição, onde são utilizadas duas fontes de fornecimento: a principal e a de *backup*. Normalmente, as duas fontes são dispersas geograficamente, possuem qualidade semelhante, mas podem divergir em prazo de entrega, preço, capacidade, confiabilidade e outros atributos (HOU *et al.*, 2017).

As decisões de fornecimento também impactam na resiliência da CS. Portanto, a utilização de estratégias de aquisição, como fornecimento *backup*, podem combater as incertezas e mitigar o impacto da interrupção no fornecimento. A utilização de um fornecedor principal, dedicado, resulta em um custo mais baixo de aquisição. Porém, estão mais vulneráveis às interrupções, sendo assim considerados menos confiáveis. Já um fornecedor *backup* possibilita uma maior confiança no fornecimento, mas acarreta em um custo mais alto (HOU *et al.*, 2017; YIN; WANG, 2018).

A presença de um fornecedor *backup*, mesmo apresentando um maior custo em relação ao fornecedor principal, melhora o desempenho da CS, já que apresenta um fornecimento confiável (GIRI; BARDHAN, 2014). Outra estratégia para a melhoria da resiliência é a utilização de estoque *backup*. O estudo de Moosavi e Hosseini (2021), por exemplo, mostrou que a estratégia de estoque *backup* pode apresentar até 13% de melhoria na resiliência da CS. Entretanto, esta impacta em um custo total até 60% mais alto do que a estratégia de fornecedor *backup*.

Na decisão do fornecedor *backup*, é necessário definir a estratégia a ser utilizada, podendo ser a reserva, compra antecipada ou compra de contingência. Na estratégia de reserva, a empresa reserva produtos com o fornecedor, mas a quantidade real a ser fornecida só é definida após a interrupção. Na compra antecipada, a empresa adquire o produto com o fornecedor antes que a interrupção aconteça. Por fim, a compra de contingência se dá quando a empresa compra após o evento ocorrido (YIN; WANG, 2018).

5.2.5 Simulação

Segundo Alvarenga *et al.* (2022), os fatores de colaboração, flexibilidade, visibilidade e orientação analítica, possibilitam uma recuperação mais fácil e rápida da CS após um evento disruptivo, ou seja, impacta positivamente na resiliência da mesma. Os autores também afirmam que para a visibilidade, as organizações devem obter informações confiáveis, transparentes e em tempo real, entre os membros da CS (ALVARENGA *et al.* 2022).

Para que as organizações permaneçam competitivas em custo e nível de serviço, as CS precisam ser adaptáveis, ágeis e resilientes e, assim, lidar adequadamente com as perturbações. Isto é possível por meio da integração de métodos de simulação (FRAZZON *et al.*, 2016). Para avaliar a resiliência, é necessária a existência de uma ruptura. Porém, por meio da simulação, é possível avaliar a utilidade das estratégias da resiliência (LOHMER *et al.*, 2020). Por meio desta, são fornecidos *insights* gerenciais aos tomadores de decisão, que possibilitam prever os

impactos operacionais e de longo prazo dos surtos epidêmicos sobre a CS, assim como apoiar o desenvolvimento de planos pandêmicos da CS (IVANOV; DOLGUI, 2020).

5.2.6 Medição de desempenho

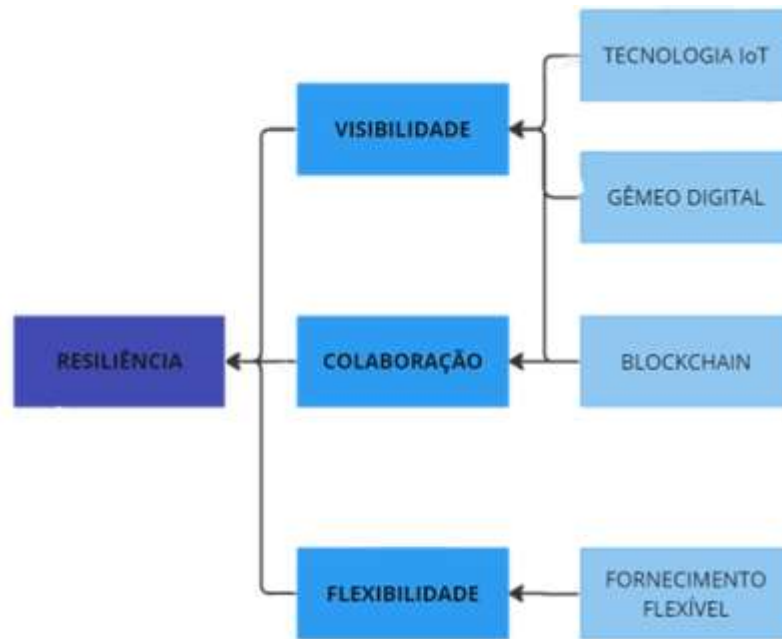
O grau dos fatores de resiliência, flexibilidade, visibilidade e colaboração, irá influenciar o desempenho e competitividade da CS. Com isso, torna-se importante a medição do desempenho, que deve apresentar os efeitos das estratégias aplicadas (CARVALHO *et al.*, 2012). Moosavi e Hosseini (2021) afirmam que definir os indicadores-chave de desempenho (*KPI*) corretos, contribuirá em uma avaliação mais assertiva do desempenho da CS. Os autores sugerem a utilização de indicadores financeiros como lucro, receita e custo total, para avaliação da interrupção em uma CS. Já Singh *et al.* (2019), indicam as medições de desempenho para cada uma dos três fatores:

- i. Visibilidade: decisões estratégicas em tempo real e conhecimento dos ativos operacionais
- ii. Flexibilidade: custo total
- iii. Colaboração: Custo de manutenção de estoque, previsão de demanda e entrega no prazo

5.2.7 Relação entre fatores e estratégias

A relação entre resiliência, os fatores e estratégias são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Relação entre resiliência, fatores e estratégias



Fonte: elaborado pelos autores (2023)

A resiliência é construída com o apoio dos fatores Visibilidade, Colaboração e Flexibilidade. Estes por sua vez, utilizam de estratégias para se consolidar. No caso deste estudo, as estratégias selecionadas foram as tecnologias IoT e Gêmeo Digital para construção da visibilidade, o Blockchain que apoia o fator colaboração e a visibilidade e a utilização de fornecimento flexível para construção da flexibilidade.

Por mais que a literatura venha apresentando diferentes estratégias e relacionando com os impactos positivos para a resiliência das CS, as contribuições destas estratégias podem ser melhores exploradas em conjunto com a avaliação de desempenho destas CS. O uso de modelos de referência e simulação de cenários vem a contribuir para essa análise integrada de estratégias, e consequentes reflexos no desempenho das CS. Nesse sentido, a seção a seguir apresenta a formulação do caso teste aqui abordado.

5.3 CASO TESTE

5.3.1 Contextualização

Com base na ampliação do modelo conceitual proposto por De Farias *et al.* (2022), realizou-se a simulação de uma CS hipotética, com o objetivo de se entender a contribuição dos fatores flexibilidade, colaboração e visibilidade no aprimoramento da resiliência, assim como sua influência na recuperação do desempenho após uma interrupção. A partir da simulação,

essa cadeia passa pelo evento de interrupção e, então, são aplicadas tecnologias e estratégias de cada fator para a melhoria da resiliência e recuperação da CS. O Quadro 1 apresenta o fator em questão, sua definição considerada neste estudo e a tecnologia/estratégia associada.

Quadro 1 – Fatores, definições e tecnologias/estratégias		
Fator	Definição	Tecnologia/Estratégia
Visibilidade	Conhecimento sobre a disponibilidade dos ativos operacionais, mecanismos de coordenação, riscos e ambiente da cadeia (POBERSCHNIGG <i>et al.</i> , 2020).	Internet das coisas (IoT) Gêmeo digital (GD)
Colaboração	Confiança na CS, por possibilitar transparência no compartilhamento de informações necessárias para detectar e responder mais rapidamente as interrupções (SCHOLTEN; SCHILDER, 2015).	<i>Blockchain</i>
Flexibilidade	Flexibilidade no fornecimento e atendimento de pedidos (POBERSCHNIGG <i>et al.</i> , 2020).	Fornecimento Flexível

Fonte: elaborado pelos autores

O modelo conceitual de De Farias *et al.* (2022) sugere o rastreamento do material ao longo da CS, a garantia do compartilhamento de informações confiáveis entre os parceiros e o seu monitoramento em tempo real. Isto ocorre para identificação imediata de uma interrupção, e que apoia a tomada de decisão, por fornecer a visualização do impacto da interrupção. O modelo é apresentado como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, já que possibilita o conhecimento dos possíveis impactos desta interrupção. Portanto, entende-se que é necessário realizar uma ação para verificar o impacto na recuperação da CS, após a incidência de interrupção.

Assim, a simulação foi construída a partir da ampliação do modelo conceitual proposto, esta ampliação consiste na adição do fator flexibilidade indicado por Viel *et al.* (2022), como um dos três fatores que aprimoram a resiliência. Os outros dois, colaboração e visibilidade, já estão presentes no modelo conceitual, devido a utilização do monitoramento em tempo real da CS via GD e IoT e confiança da informação por meio da tecnologia Blockchain.

Então, para implementação da ampliação do modelo conceitual de De Farias *et al.* (2022), foi realizada uma simplificação do modelo adotando, como representação de cada fator, o modo de aplicação de cada tecnologia e estratégia. Portanto, a simplificação do modelo conceitual ampliado é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Relação do fator, tecnologias e estratégias com a aplicação no modelo

Fator	Tecnologia/ Estratégia	Descrição	Aplicação
Visibilidade	IoT	Promove rastreamento em tempo real do produto durante o fluxo, dentro da cadeia de suprimentos (AL-TALIB <i>et al.</i> , 2020).	A visibilidade é construída com base em duas tecnologias, pois o GD precisa receber os dados da CS em tempo real para monitorá-la também em tempo real. E isso é possível devido a tecnologia IoT. Portanto, a aplicação da visibilidade por meio do GD e IoT, vai ser apresentada no modelo como o tempo de acionamento da estratégia de flexibilidade.
	Gêmeo Digital	Segundo o estudo de Moosavi e Hosseini (2021), que avalia por meio da simulação as estratégias de estoque ou fornecedor <i>Backup</i> , o GD possibilita <i>insights</i> aos tomadores de decisão, para escolha da ação a ser tomada conforme o que buscam.	
Colaboração	<i>Blockchain</i>	Com o compartilhamento de informação confiável sobre o estoque, o <i>Blockchain</i> possibilita a redução significativa dos prazos de entrega, acelerando as transações e localizando rapidamente problemas logísticos (SARFARAZ <i>et al.</i> , 2023).	O compartilhamento de informação transparente e confiável permite a melhoria do tempo operacional, já que o acesso a dados como o do estoque e demanda, permite aos fornecedores agir mais rapidamente e assertivamente. Isso é possível por meio do contrato inteligente da tecnologia <i>blockchain</i> . Portanto, a aplicação da colaboração será demonstrada no modelo pelo tempo de entrega reduzido, apoiando a estratégia da flexibilidade.
Flexibilidade	Fornecimento Flexível	Neste aspecto, pode ser adotada a estratégia que atende o estágio de aquisição, onde são utilizadas duas fontes de fornecimento: a principal e a de <i>backup</i> . Normalmente, as duas fontes são dispersas geograficamente, possuem qualidade semelhante, mas podem divergir em prazo de entrega, preço, capacidade, confiabilidade e outros atributos (HOU <i>et al.</i> , 2017).	Para atender a flexibilidade, é apresentado neste modelo a contratação de fornecimento backup . Esta estratégia possibilita cobertura no atendimento da demanda, na impossibilidade do fornecedor principal. Porém, acarreta maiores custos.

Fonte: elaborado pelos autores

5.4 SIMULAÇÃO

A partir da definição de aplicação das estratégias e tecnologias relacionadas aos fatores de aprimoramento da resiliência, visibilidade, colaboração e flexibilidade, foram determinados 29 cenários, com o objetivo de entender o impacto da interrupção no desempenho da CS, assim como a medição do desempenho da ampliação do modelo conceitual proposto por De Farias *et al.* (2022) na recuperação do desempenho da CS após uma interrupção. Esses cenários são: (i) o cenário base que apresenta a operação normal da CS, ou seja, o cenário de referência do desempenho normal; (ii) o cenário com incidência de interrupção e sem nenhum fator de aprimoramento da resiliência aplicado; e (iii) 27 cenários com aplicação do modelo, baseado nos fatores e tecnologia (apresentados no Quadro 2).

5.4.1 Cenário base

O primeiro passo foi apresentar a estrutura da CS em seu funcionamento normal, ou seja, sem incidência de interrupções. Portanto, foi modelada no software *Anylogistix*[®], uma CS generalista, de vários estágios, com fornecedor (ícone verde), fábrica (ícone amarelo), centro de distribuição (ícone vermelho) e clientes (ícone azul), localizados em diferentes zonas geográficas, conforme a Figura 3.

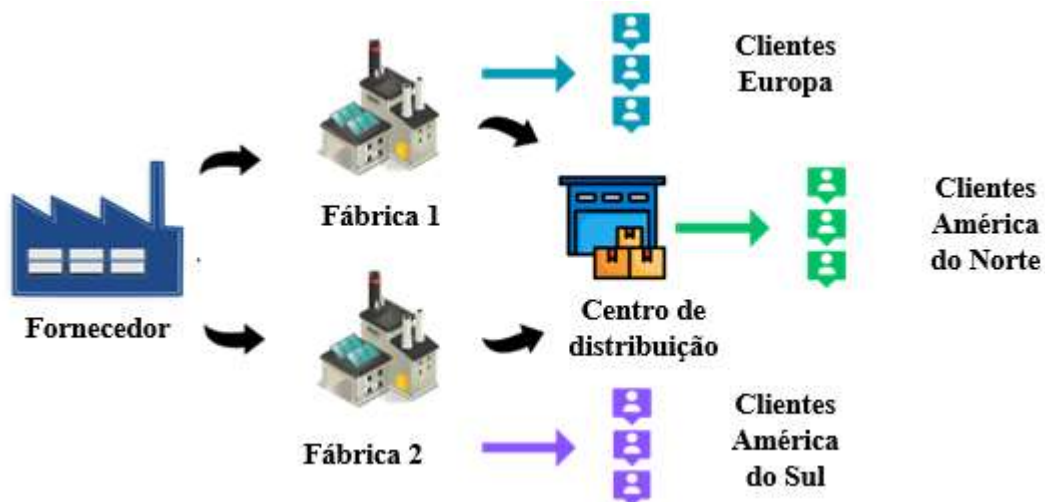
A CS genérica possui duas fábricas: uma na Europa, e outra na América do Sul, ambas abastecidas pelo fornecedor localizado na China. A fábrica 1 abastece diretamente os clientes da Europa, a fábrica 2 fornece diretamente aos clientes da América do Sul e o centro de distribuição é abastecido pelas duas fábricas, e fornece para os clientes da América do Norte, onde o mesmo está instalado. O transporte é realizado por meio dos modais marítimo (continentes diferentes) e rodoviário (mesmo continente). A Figura 4 apresenta essa lógica de funcionamento.

Figura 3 – Localização dos atores da CS



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 4 – Relação de fornecimento da CS



Fonte: elaborado pelos autores

Todos os valores foram definidos de forma arbitrária, usando como fundamento o conhecimento empírico dos pesquisadores. Essa atribuição se justifica considerando que o intuito da presente pesquisa não está em analisar o comportamento dos dados em si, mas sim em analisar a lógica de funcionamento e comportamento do modelo de simulação, assim como a relevância dos fatores em estudo na resiliência de uma CS genérica.

A demanda genérica é determinística, e varia entre 40 e 120 mil unidades por pedido, a depender do cliente, e a colocação de pedido ocorre a cada 10 dias. A demanda determinística e a omissão de outras variações do modelo são justificadas considerando que o objetivo é entender o impacto da interrupção. A CS opera com alguns custos fixos e variáveis (por dia e

por peça), relacionados à instalação, transporte, produção e estoque, que são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos custos da CS

Descrição	Valor
Custo da instalação	\$0,8/dia*peça
Custo de manutenção de estoque	\$0,5/dia*peça
Outros custos	\$4,5/dia
Custo de transporte	\$0,5 a \$2/veículo
Custo de produção	\$3/peça

Fonte: elaborado pelos autores

O estoque é definido com uma política de mínimo e máximo, a partir de um volume inicial estabelecido. Os tempos de entrega são definidos, e variam conforme o modal e a distância. Os embarques menores que as cargas em contêineres (*LCL - Less Container Load*) são permitidos, e nos caminhões 80% da capacidade é permitida (*FTL - Full Truck Load*). O tempo de produção é conhecido. O período simulado é referente a um ano, entre os meses de janeiro e dezembro. Todos os valores dos parâmetros citados são apresentados na Tabela 2. É detalhado no Apêndice A todos os parâmetros utilizados no cenário base.

Tabela 2 – Descrição das parametrizações de tempo e quantidade

Descrição	Valor
Estoque inicial	120 000 a 465000 uni
Estoque mínimo	240 000 a 930000 uni
Estoque máximo	360 000 a 1 395 000 uni
Tempo de entrega - marítimo	15 a 30 dias
Tempo de entrega - rodoviário	1 a 2 dias
Capacidade navio	630 000 uni
Capacidade carreta	30 000 a 80 000 uni

Fonte: elaborado pelos autores

A análise é baseada nos indicadores de lucro (L), custo total (CT), custo de manutenção de estoque (CM) e atendimento de produtos no prazo (AP). A lógica de cálculo desses indicadores é apresentada, respectivamente, nas Equações 1, 2, 3 e 4.

$$L = F - CT \quad (1)$$

$$CT = CM + CI + CP + CTe + OC \quad (2)$$

$$CM = \frac{CE}{\text{dia}} \times Qde \text{ de Produto} \times Qde \text{ de dias estocados} \quad (3)$$

$$AP = Qde \text{ de produtos entregues dentro do Lead Time esperado} \quad (4)$$

Onde:

- F: faturamento
- CI: custo da instalação
- CP: custo de produção
- CTe: custo de transporte
- OC: outros custos
- CE: custo de estocagem de unidade de produto
- Qde: quantidade

5.4.2 Cenário com interrupção

A construção deste cenário se faz necessária para avaliar o impacto de uma interrupção no desempenho da CS. Portanto, é um cenário de referência, da mesma forma do cenário base, mas com o intuito de avaliar a recuperação do desempenho nos cenários com a aplicação do modelo.

Para a configuração deste cenário, foi utilizada a configuração do cenário base, e inseridos dois eventos que impactam em interrupção do fornecimento de matéria prima. Os eventos considerados neste estudo são de paralização do fornecedor por 35 dias cada. O primeiro inicia em 14 de março do ano em análise, e o segundo em julho do mesmo ano. A definição desses eventos tem como referência as interrupções enfrentadas durante a pandemia de COVID-19. A Figura 5 demonstra o cenário com o fornecedor inativo.

Figura 5 – CS com interrupção do fornecedor



Fonte: elaborado pelos autores

5.4.3 Cenário com interrupção e aplicação do modelo

A configuração do modelo computacional é descrita a seguir, bem como as variações de cada estratégia, consideradas para avaliar a efetividade do modelo.

i. Flexibilidade

Para este fator, foi escolhida a estratégia de fornecedor *backup* local, por permitir maior confiança no fornecimento em caso de interrupção global. No entanto, sabe-se que essa escolha acarreta em custos maiores em relação ao fornecedor principal. Para gerenciamento do relacionamento com o fornecedor *backup*, foi feito um contrato e adiantamento de reserva, para garantir o fornecimento quando solicitado, identificando a localização e quantidade de produtos necessários.

Na construção dos cenários, as variações definidas para esta estratégia foram em relação ao tipo de fornecimento, que pode ser único ou duplo, e à localização, podendo ser próximo à fábrica 1 (Europa – EU), fábrica 2 (América do Sul – AS) ou em ambas, no caso do fornecimento duplo. Essas localizações (ícone roxo) são apresentadas na Figura 6.

Figura 6 – Variações do fator flexibilidade



Fonte: elaborado pelos autores

ii. Colaboração

Para atender o fator de colaboração, é utilizada a estratégia de contrato inteligente, que garante a transparência das informações, em relação à demanda e estoque. Isto possibilita maior agilidade no tempo de entrega do produto. Para as variações do modelo, foram determinados, com base na experiência empírica dos autores, os tempos de entrega de matéria prima pelo fornecedor *backup* de 3, 4 ou 5 dias, para os transportes rodoviários, e de 14, 15 ou 16 dias, para o transporte marítimo. É importante destacar que o transporte rodoviário é utilizado quando as partes estão no mesmo continente, e o marítimo quando estão em continentes diferentes.

iii. Visibilidade

Em relação ao fator de visibilidade, a estratégia utilizada foi a simulação em tempo real, que é abastecida das informações geradas pelo rastreamento do material via tecnologia IoT. Desta forma, considera-se o momento da identificação da interrupção por meio da inativação do fornecimento, e consequentemente, da ativação do fornecedor *backup*. Quando o fornecedor principal retorna à operação, o fornecedor *backup* é desativado no mesmo momento.

A variação desta estratégia é de 0 horas, ou seja, imediata, 4 horas ou 1 dia após a identificação da interrupção.

Para avaliar a efetividade do modelo, foram simuladas as três variações de cada estratégia em conjunto, resultando em 27 cenários. Com isso, a configuração de cada cenário com aplicação do modelo é apresentada na Figura 7. Como exemplo, o cenário 22 possui duplo fornecimento, com 4 dias de tempo de entrega de cada fornecedor para a respectiva fábrica que atende. Sabe-se que o fornecedor da Europa atende a fábrica 1 e fornecedor da América do Sul atende a fábrica 2, sendo esses acionados imediatamente após a identificação da interrupção.

Figura 7 – Configuração dos cenários com aplicação do modelo

APLICAÇÃO DO MODELO			
Cenário	Quantidade de fornecedores backup Flexibilidade	Tempo de entrega - fornecedor backup Colaboração	Tempo de acionamento Visibilidade
		FACT1 FACT2	
1	EU	5 16	Imediato
2	EU	5 16	1
3	EU	5 16	4horas
4	EU	4 15	Imediato
5	EU	4 15	1
6	EU	4 15	4horas
7	EU	3 14	Imediato
8	EU	3 14	1
9	EU	3 14	4horas
10	AS	16 5	Imediato
11	AS	16 5	1
12	AS	16 5	4horas
13	AS	15 4	Imediato
14	AS	15 4	1
15	AS	15 4	4horas
16	AS	14 3	Imediato
17	AS	14 3	1
18	AS	14 3	4horas
19	EU e AS	5	Imediato
20	EU e AS	5	1
21	EU e AS	5	4horas
22	EU e AS	4	Imediato
23	EU e AS	4	1
24	EU e AS	4	4horas
25	EU e AS	3	Imediato
26	EU e AS	3	1
27	EU e AS	3	4horas

Fonte: elaborado pelos autores

5.5 RESULTADOS

A Figura 8 apresenta os indicadores em valores relativos de todos os cenários.

Figura 8 – Indicadores dos cenários

	ATENDIMENTO ENTREGA DE PRODUTOS NO PRAZO	CUSTO DE MANUTENÇÃO DE ESTOQUE	LUCRO	CUSTO TOTAL
Base	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
1	0,09%	36%	-19%	14%
2	0,23%	40%	-30%	21%
3	0,09%	41%	-26%	19%
4	0,09%	44%	-25%	18%
5	0,09%	44%	-25%	18%
6	0,09%	36%	-24%	18%
7	0,09%	47%	-27%	20%
8	0,09%	39%	-26%	19%
9	0,09%	39%	-26%	19%
10	0,09%	30%	-29%	21%
11	0,09%	30%	-29%	21%
12	0,09%	33%	-22%	16%
13	0,09%	38%	-24%	17%
14	0,09%	33%	-23%	17%
15	0,09%	46%	-26%	19%
16	0,09%	31%	-26%	19%
17	0,09%	31%	-26%	19%
18	0,09%	43%	-28%	20%
19	0,66%	117%	-59%	43%
20	0,09%	54%	-39%	28%
21	0,09%	47%	-35%	25%
22	0,09%	55%	-38%	28%
23	0,09%	54%	-39%	28%
24	0,09%	49%	-43%	31%
25	0,09%	60%	-38%	28%
26	0,09%	56%	-39%	29%
27	0,09%	53%	-41%	30%
Cenário com interrupção	-39,21%	-85%	-91%	-2%

Fonte: elaborado pelos autores

O cenário base, que não possui interrupção nem aplicação do modelo, apresenta em todos os indicadores 100%, por ser o cenário de referência. Com a incidência da interrupção, o desempenho foi significativamente afetado, resultando na entrega de apenas 60,79% dos produtos no prazo, um custo de manutenção de estoque de 15,12%, um lucro de 9,24% e um custo total de 97,76%. Ou seja, houve uma redução de aproximadamente 39% na entrega de produtos dentro do prazo.

i. Atendimento de produto no prazo

Com a aplicação do modelo, foi observado um aumento na entrega em relação ao cenário base, variando de 0,09% na maioria dos cenários a 0,66%, onde destacam-se os cenários 2 e 19, com 0,23% e 0,66%, respectivamente, de unidades a mais entregues no prazo do que o cenário base. O cenário 19 possui a configuração de duplo fornecimento, onde o fornecedor da Europa abastece a fábrica 1, e o fornecedor da América do Sul, a fábrica 2, ambos em 5 dias por modal rodoviário. O acionamento dos fornecedores ocorre simultaneamente a identificação da interrupção. O cenário 2 possui fornecimento *backup* único, com 5 dias de entrega por modal rodoviário, e 16 dias por modal marítimo, onde o acionamento do fornecedor *backup* ocorre um dia após a identificação.

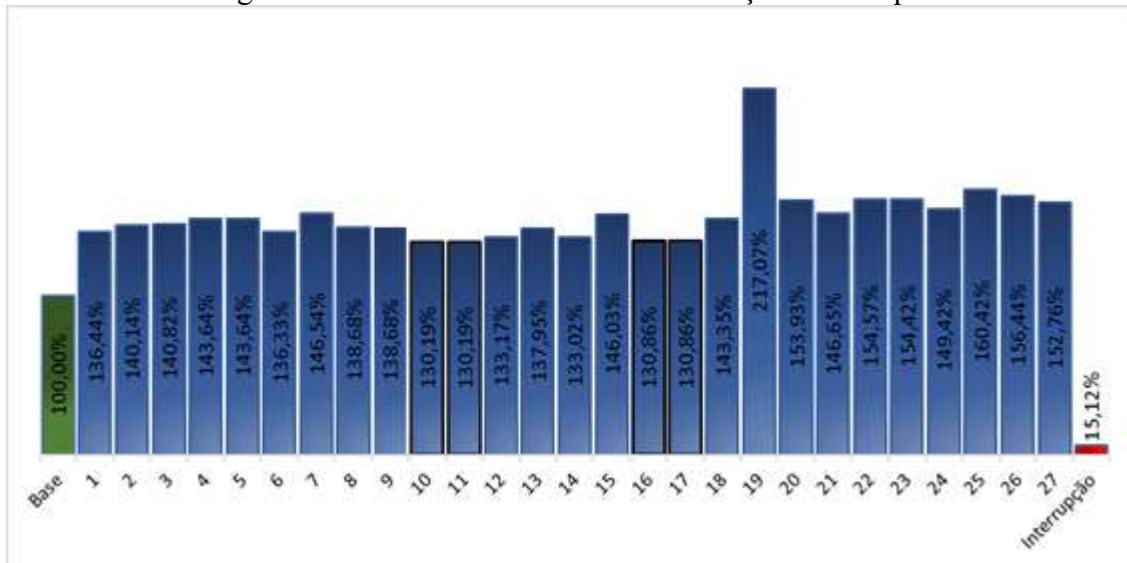
O aumento da quantidade de produtos entregues se justifica pelo fato do fornecedor *backup* estar localizado mais próximo geograficamente. Isso resulta em um tempo de entrega menor em comparação ao fornecedor principal, possibilitando consequentemente, a entrega de mais produtos.

ii. Custo de manutenção de estoque

A Figura 9 apresenta uma análise dos cenários em relação ao custo de manutenção de estoque. Como pode ser observado, todos os cenários com aplicação do modelo simulados apresentaram aumento do custo de manutenção, a partir da interrupção da CS. Esse aumento do custo varia entre 30,86% e 117,07% em relação ao cenário base.

A estratégia única de fornecimento *backup*, com localização na América do Sul, e tempos de entrega de 14 ou 16 dias por modal marítimo para as fábricas 1 e 3, ou 5 dias por modal rodoviário para a fábrica 2, com acionamento do fornecedor de forma imediata, ou 1 dia da identificação da interrupção, impactou em um incremento mais suave do custo de estoque. Em contrapartida, a estratégia duplo fornecimento, onde o fornecedor da Europa abastece a fábrica 1 e o fornecedor da América do Sul a fábrica 2, ambos em 5 dias por modal rodoviário, com acionamento imediato do fornecedor frente a identificação de uma interrupção, apresentou o aumento de custo mais relevante dentre os cenários simulados.

Figura 9 – Indicador de custo de manutenção de estoque



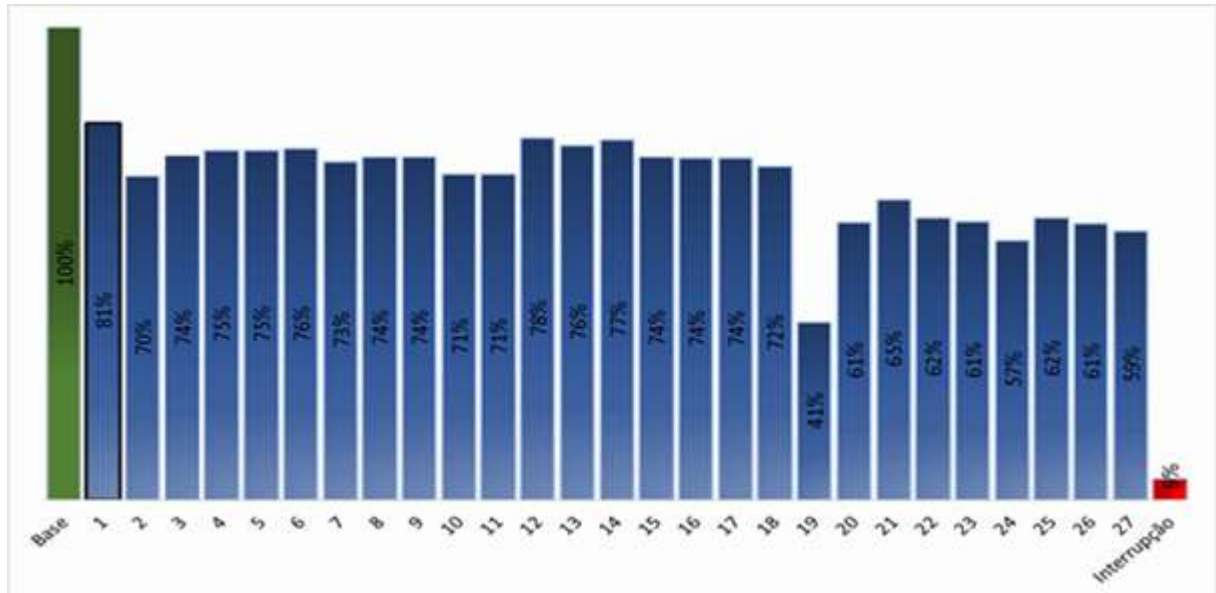
Fonte: elaborado pelos autores

iii. Lucro

A Figura 10 apresenta o lucro obtido para os cenários. Todos, inclusive o com a incidência de interrupção, possuem valores mais baixos do que o cenário normal. Da mesma forma, todos os cenários com aplicação do modelo, apresentam recuperação do lucro em relação ao cenário apenas com interrupção.

O cenário 19 foi o que apresentou maior redução do lucro, envolvendo a estratégia duplo fornecimento *backup*, entrega por modal rodoviário com prazo de 5 dias e acionamento do fornecedor *backup* imediatamente. Esses valores são em média 30% mais baixos do que o do cenário base, e 86% mais altos do que o do cenário de interrupção sem estratégia. Já o cenário 1, que envolve estratégias de único fornecimento *backup*, com localização na Europa e que abastece a fábrica 1 por modal rodoviário em 5 dias e a fábrica 2 por modal marítimo em 16 dias, com acionamento do fornecedor *backup* imediatamente após a identificação da interrupção, apresentou a menor redução do lucro. Este mostrou valores aproximadamente 19% menores do que o cenário base e 88% mais altos do que o cenário de interrupção sem estratégia.

Figura 10 – Indicador de lucro



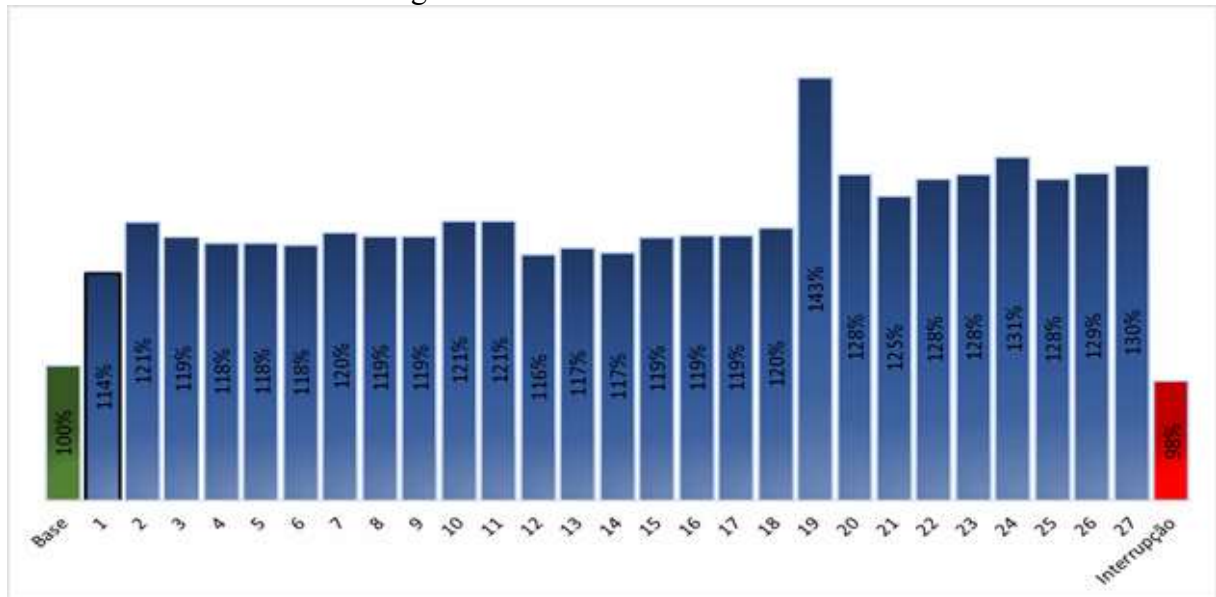
Fonte: elaborado pelos autores

iv. Custo total

Os custos totais de cada cenário são apresentados na Figura 11. Todos os cenários com aplicação da estratégia de recuperação possuem valores maiores do que o cenário normal. O aumento do custo varia entre 13,63% e 42,61%, em relação ao cenário base.

O cenário 19 foi o que apresentou maior aumento do custo total, envolvendo a estratégia duplo fornecimento *backup*, entrega por modal rodoviário com prazo de 5 dias e acionamento do fornecedor *backup* de 7 dias. Em contrapartida, o cenário 1, envolvendo estratégias de único fornecimento *backup*, com localização na Europa, que abastece a fábrica 1 por modal rodoviário em 5 dias e a fábrica 2 por modal marítimo em 16 dias, com acionamento do fornecedor *backup* imediatamente após a identificação da interrupção, apresentou o menor aumento do custo total.

Figura 11 – Indicador de custo total



Fonte: elaborado pelos autores

Observa-se em todos os indicadores que a aplicação da estratégia de recuperação influenciou positivamente o desempenho da CS, em relação ao cenário com interrupção. Dentro de cada indicador, há a configuração com variação da estratégia que mais se destacou em relação a todas aplicadas. Esses resultados indicam que a escolha por fornecedor único representa a estratégia de flexibilidade mais assertiva para a recuperação da interrupção. Para a estratégia de colaboração, observa-se uma variação nos cenários que apresentaram melhor resultado nos indicadores, demonstrando que o tempo de entrega reduzido devido ao fornecedor *backup* ser mais próximo às fábricas já resulta em benefício.

Considerando o indicador de atendimento de produtos no prazo, todos os cenários de aplicação do modelo apresentam melhores resultados em relação ao cenário normal. O duplo fornecimento apresenta o melhor resultado dentre os cenários, e possui o menor lucro e maior custo. Portanto, define-se que estratégia de recuperação foi escolhida referente aos indicadores financeiros.

Em relação à estratégia de visibilidade, todos os cenários que apresentaram o melhor resultado em relação aos indicadores definidos, possuem a variação para acionamento imediato após a identificação da interrupção.

Na Figura 12 é apresentado o cenário que apresentou o melhor resultado em cada indicador, destacado nas células com bordas de linha mais espessa. Todos os valores demonstram seu comportamento em relação ao cenário base.

Figura 12 – Indicadores e seus cenários destaque

CENÁRIO	Base	1	10	11	16	17	19	Interrupção
ATENDIMENTO DE PRODUTOS NO PRAZO	100%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,66%	-39,21%
CUSTO DE MANUTENÇÃO DE ESTOQUE	100%	36,44%	30,19%	30,19%	30,86%	30,86%	117,07%	-16,92%
LUCRO	100%	-19,27%	-29,46%	-29,46%	-26,35%	-26,35%	-59,35%	-90,76%
CUSTO TOTAL	100%	13,63%	21,48%	21,48%	19,28%	19,28%	42,61%	-2,24%
CONFIGURAÇÃO DO MODELO	FLEXIBILIDADE	EU	AS	AS	AS	AS	EU e AS	
	COLABORAÇÃO	5 16	16 5	16 5	14 3	14 3	5	
	VISIBILIDADE	Imediato	Imediato	1 dia	Imediato	1 dia	Imediato	

Fonte: elaborado pelos autores

O cenário 19 demonstra o melhor desempenho em relação à pontualidade de entrega de produto. Porém, em relação aos demais indicadores, ele apresenta a estratégia com o pior desempenho na recuperação da CS, após uma interrupção.

Pode-se observar que o cenário 1 apresenta o melhor lucro dentre os cenários de estratégia de recuperação, e o cenário somente com interrupção. O cenário 1 teve redução de 19,27% do lucro em relação ao cenário base.

Portanto, a estratégia indicada para o melhor resultado de recuperação, representada no cenário 1, é de fornecimento *backup* único, com localização na Europa, ou seja, próximo à fábrica 1. O tempo de acionamento do fornecedor *backup* é imediato, e o tempo de entrega pode variar 5 dias, quando utiliza-se modal rodoviário, e 16 dias, quando utiliza-se modal marítimo.

5.6 DISCUSSÕES

Para a construção do modelo, além de ampliar o modelo conceitual de De Farias *et al.* (2022) com o fator flexibilidade, também foi adotada uma simplificação do modelo. Para esta simplificação, foram definidas formas de aplicação das contribuições das tecnologias e estratégias que apoiam os fatores de aprimoramento da resiliência. Para o fator flexibilidade, é empregada a utilização de fornecedor *backup*, variando quantidade e localização. No fator visibilidade, foi definido como aplicação, o tempo de acionamento do fornecedor *backup* após

a incidência de interrupção, podendo ser imediata, após 4 horas ou após 1 dia, sendo considerado como resultado da utilização da tecnologia IoT para rastreamento e GD para monitoramento, ambos em tempo real. Foi considerada que a contribuição da tecnologia *blockchain*, por meio do contrato inteligente, possibilita uma entrega mais ágil, e apoia o fator colaboração. Sua aplicação utilizou a variação do tempo de entrega, podendo ser de 3, 4 ou 5 dias para o modal rodoviário, e de 14, 15 ou 16 dias para o modal marítimo. Para avaliação do desempenho do modelo, foram estabelecidos os indicadores de atendimento de produto no prazo, custo de manutenção de estoque, lucro e custo total.

Este estudo utilizou a simulação com o intuito de comparar o desempenho dos cenários e avaliar o comportamento da interrupção, assim como de cada estratégia na CS em comparação ao cenário base. Com isso, foi identificado que as estratégias e suas variações definidas para cada fator, suportam a recuperação do desempenho em comparação ao cenário que sofre a interrupção sem plano de recuperação, e demonstra a influência de cada fator na recuperação do desempenho.

Dentro no cenário utilizado neste estudo, a utilização de monitoramento e rastreo em tempo real, permite avaliar as possibilidades e estratégias de recuperação, possibilitando assim uma resposta mais ágil nas ações a serem realizadas para recuperar o desempenho da CS, frente aos eventos adversos. Desta forma, evidencia-se a contribuição do fator visibilidade na tomada de decisão, em relação à estratégia a ser utilizada na recuperação do desempenho da CS que sofreu uma interrupção.

Para as variações aplicadas neste estudo, foi possível identificar a flexibilidade como o fator de maior impacto nos resultados da melhoria do desempenho da CS. Entre um duplo fornecimento *backup* ou único, a estratégia de único fornecedor *backup* possibilita a melhor recuperação de lucro, de 81% do lucro do cenário base.

Ainda, a localização do fornecedor mais próximo das fábricas e a informação clara da demanda necessária, contribui na agilidade de atendimento da demanda. Como reflexo, pode-se então observar a redução do impacto negativo da interrupção no desempenho da CS.

Em relação à recuperação do desempenho, as estratégias de único fornecedor *backup* localizado na Europa, com tempo de entrega de 5 dias para modal rodoviário para atender a fábrica 1, e 16 dias para atender a fábrica 2 por modal marítimo, com acionamento de forma imediata do fornecedor *backup* após a identificação da interrupção apresentaram um melhor resultado. Isto está associado, principalmente, pelo fato de o fornecedor *backup* único possibilitar um menor custo em relação ao fornecimento duplo. Da mesma forma, a localização na Europa permite uma redução expressiva do tempo de entrega, para as duas fábricas. Quando

localizada na América do Sul, essa diferença é mais expressiva apenas para a entrega no próprio continente. Também, o acionamento em tempo real está ligado a prontidão de resposta frente a um evento de interrupção.

O modelo deve ser melhor estudado em relação a aplicação de cada tecnologia e estratégia, devido a limitação que esta pesquisa apresentou em determinar apenas a contribuição de cada uma delas, definidas no apoio dos fatores para recuperação da CS. Neste sentido, a variação da localização, dos atores e outras contribuições além das definidas neste estudo, podem alterar a forma de atuação de cada um dos fatores e estratégias.

Dentro da delimitação apresentada de estratégias na implantação do modelo, pode-se concluir que a aplicação do modelo conceitual, proposto para aprimoramento da resiliência da CS, é efetivo para lidar com interrupções no fornecimento de matéria prima. Considerando que todas as variações ocorrem quando há a influência das tecnologias e estratégia, fornecedor *backup*, GD, contrato inteligente, *blockchain* e tecnologia *IoT* para rastreamento, estas foram bem-sucedidas para lidar com interrupções, recuperar em grande parte o lucro e manter as entregas dentro do prazo.

5.7 CONCLUSÕES

A complexidade das CS aumentou devido ao grande número de participantes, suas localizações distribuídas globalmente e suas relações comerciais. Como resultado, essas CS estão suscetíveis às interrupções que impactam o seu desempenho e competitividade, tornando crucial entender e mitigar os riscos envolvidos. Como estratégia de mitigação de riscos, busca-se o aprimoramento da resiliência da CS, que tem como objetivo fortalecer sua capacidade de resistir e superar os impactos decorrentes de interrupções.

Para compreender a contribuição dos fatores de flexibilidade, colaboração e visibilidade no aprimoramento da resiliência da CS, foi ampliado o modelo conceitual do estudo de De Farias *et al.* (2022), cujo desempenho na recuperação da CS após uma interrupção foi avaliado nesta pesquisa, por meio das contribuições definidas, em relação as tecnologias e estratégias que apoiam os fatores na construção da resiliência. A aplicação do modelo ocorreu a partir da definição das contribuições que as tecnologias e estratégias fornecem quando inseridas na CS, desta forma, o estudo adotou que para o fornecedor *backup* pode-se trabalhar com fonte única ou dupla. O GD determina que a resposta a interrupção pode ocorrer de forma imediata, em 4 horas ou 1 dia. Já com o *blockchain*, prazos de entrega do fornecedor *backup* possuem variações de prazo e modal. Dentro destas definições, foi identificado que um único

fornecimento *backup*, que utiliza os modais marítimo e rodoviário para entrega da matéria prima nos tempos de 5 e 16 dias, respectivamente, com o acionamento deste fornecedor ocorrendo de forma imediata a identificação da interrupção, é a estratégia que mostra que o objetivo do estudo foi auferido.

Foi desenvolvido um modelo genérico, com características gerais entre tempo de fornecimento, localização dos fornecedores, quantidade de fornecedores, custos e todos os parâmetros necessários à ferramenta *Anylogistix*[®]. A utilização de um modelo genérico permite com que adaptações necessárias sejam feitas para outros casos, permitindo a replicação e aplicabilidade do modelo em outros contextos.

Este estudo teve como contribuição o fornecimento de informações para os gestores das CS, que são os responsáveis pelas decisões, assim como a possibilidade de utilizar a simulação para examinar e prever os impactos da interrupção na CS. Ainda, este considerou apenas a interrupção no fornecimento de matéria prima, e foram eliminadas as interrupções em outras etapas da CS, o que pode ser compreendido como uma limitação. Da mesma forma, utilizou-se apenas a contribuição de uma estratégia de cada um dos três fatores: flexibilidade, colaboração e visibilidade, apesar de haver várias possibilidades de considerações das mesmas. Deste modo, todos os valores foram definidos arbitrariamente, com base no conhecimento empírico dos autores.

Para pesquisas futuras, recomenda-se avaliar outras estratégias dentro de cada fator, comparando-as às usadas neste estudo, e analisar as interrupções em outros estágios da CS, bem como possíveis oscilações de demanda. A utilização de outras contribuições das estratégias também pode ser utilizada, como outros prazos no GD e redução do prazo de entrega nas entregas padrão com a utilização do *blockchain*. Também, pode ser desenvolvido um modelo computacional, que retrate na integridade o modelo conceitual, bem como a utilização de dados de um caso real, para a avaliação da aplicabilidade da ferramenta neste caso.

REFERÊNCIAS

AGOSTINO, Í. R. S. et al. Using a digital twin for production planning and control in industry 4.0. **International Series in Operations Research and Management Science**, v. 289, p. 39–60, 2020.

AL-TALIB, M. et al. Achieving resilience in the supply chain by applying IoT technology. **Procedia CIRP**, v. 91, n. March, p. 752–757, 2020.

ALVARENGA, M. Z. et al. Sua Cadeia De Suprimentos Está Preparada Para a Próxima Interrupção? Construindo Cadeias Resilientes. **Revista de Administração de Empresas**, v. 62, n. 1, p. 1–17, 2022.

AMIRI ARA, R.; PAARDENKOOPER, K.; VAN DUIN, R. A new blockchain system design to improve the supply chain of engineering, procurement and construction (EPC) companies – a case study in the oil and gas sector. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 20, n. 4, p. 887–913, 2022.

AZADEH, A. et al. Modelling and improvement of supply chain with imprecise transportation delays and resilience factors. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 17, n. 4, p. 269–282, 2014.

BÉCUE, A. et al. A new concept of digital twin supporting optimization and resilience of factories of the future. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 10, n. 13, 2020.

BELHADI, A. et al. Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak: Lessons learned from the automobile and airline industries. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 163, n. May 2020, p. 120447, 2021.

CARVALHO, H.; AZEVEDO, S. G.; CRUZ-MACHADO, V. Agile and resilient approaches to supply chain management: Influence on performance and competitiveness. **Logistics Research**, v. 4, n. 1–2, p. 49–62, 2012.

CAVALCANTE, I. M. et al. A supervised machine learning approach to data-driven simulation of resilient supplier selection in digital manufacturing. **International Journal of Information Management**, v. 49, n. March, p. 86–97, 2019.

DE FARIAS, I. V. et al. Visibility model for enhancing supply chains resilience. **IFAC-PapersOnLine**, v. 55, n. 10, p. 2521–2525, 2022.

DE SA, M. M.; PRIM, A. L.; BIROU, L. With major risks comes great resilience: the COVID-19 effect on SMEs in a developing country. **Operations Management Research**, n. 0123456789, 2023.

FRAZZON, E. M.; ALBRECHT, A.; HURTADO, P. A. Simulation-based optimization for the integrated scheduling of production and logistic systems. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 1050–1055, 2016.

GIRI, B. C.; BARDHAN, S. Coordinating a supply chain with backup supplier through buyback contract under supply disruption and uncertain demand. **International Journal of Systems Science: Operations and Logistics**, v. 1, n. 4, p. 193–204, 2014.

HOU, J.; ZENG, A. Z.; SUN, L. Backup sourcing with capacity reservation under uncertain disruption risk and minimum order quantity. **Computers and Industrial Engineering**, v. 103, p. 216–226, 2017.

IVANOV, D. et al. Digital Supply Chain Twins: Managing the Ripple Effect, Resilience, and Disruption Risks by Data-Driven Optimization, Simulation, and Visibility. In: [s.l.] **Springer International Publishing**, 2019. v. 276p. 309–332.

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**, v. 136, n. March, p. 101922, 2020.

IVANOV, D.; DOLGUI, A. New disruption risk management perspectives in supply chains: Digital twins, the ripple effect, and resilience. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 13, p. 337–342, 2019.

IVANOV, D.; DOLGUI, A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020.

JUAN, S. J.; LI, E. Y.; HUNG, W. H. An integrated model of supply chain resilience and its impact on supply chain performance under disruption. **International Journal of Logistics Management**, v. 33, n. 1, p. 339–364, 2022.

LOHMER, J.; BUGERT, N.; LASCH, R. Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. **International Journal of Production Economics**, v. 228, n. July, p. 107882, 2020a.

LOHMER, J.; BUGERT, N.; LASCH, R. Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. **International Journal of Production Economics**, v. 228, n. September 2019, p. 107882, 2020b.

MANDAL, S. et al. Achieving supply chain resilience: The contribution of logistics and supply chain capabilities. **International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment**, v. 7, n. 5, p. 544–562, 2016.

MOOSAVI, J.; FATHOLLAHI-FARD, A. M.; DULEBENETS, M. A. Supply chain disruption during the COVID-19 pandemic: Recognizing potential disruption management strategies. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 75, n. February, p. 102983, 2022.

MOOSAVI, J.; HOSSEINI, S. Simulation-based assessment of supply chain resilience with consideration of recovery strategies in the COVID-19 pandemic context. **Computers and Industrial Engineering**, v. 160, n. July, p. 107593, 2021.

POBERSCHNIGG, T. F. DA S.; PIMENTA, M. L.; HILLETOFTH, P. How can cross-functional integration support the development of resilience capabilities? The case of collaboration in the automotive industry. **Supply Chain Management**, v. 25, n. 6, p. 789–801, 2020.

RYMARCZYK, J. Technologies, opportunities and challenges of the industrial revolution 4.0: Theoretical considerations. **Entrepreneurial Business and Economics Review**, v. 8, n. 1, p. 185–198, 2020.

SARFARAZ, A.; CHAKRABORTTY, R. K.; ESSAM, D. L. The implications of blockchain-coordinated information sharing within a supply chain: A simulation study. **Blockchain: Research and Applications**, v. 4, n. 1, p. 100110, 2023.

SCHOLTEN, K.; SCHILDER, S. The role of collaboration in supply chain resilience. **Supply**

Chain Management, v. 20, n. 4, p. 471–484, 2015.

SHARMA, Angira et al. Digital twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*, p. 100383, 2022.

SINGH, C. S.; SONI, G.; BADHOTIYA, G. K. Performance indicators for supply chain resilience: review and conceptual framework. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 15, n. s1, p. 105–117, 2019.

SONI, U.; JAIN, V. Minimizing the vulnerabilities of supply chain: A new framework for enhancing the resilience. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, p. 933–939, 2011.

VIEL, I. et al. RESILIÊNCIA NA CADEIA DE SUPRIMENTOS: REVISÃO TEÓRICA E CONTEXTO PRÁTICO. *Anais ... Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2022.

VLACHOS, D. et al. Building robust supply chains by reducing vulnerability and improving resilience. **International Journal of Agile Systems and Management**, v. 5, n. 1, p. 59–81, 2012.

WANG, Y.; WANG, X.; LIU, A. Digital twin-driven supply chain planning. **Procedia CIRP**, v. 93, p. 198–203, 2020.

YIN, Z.; WANG, C. Strategic cooperation with a backup supplier for the mitigation of supply disruptions. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 12, p. 4300–4312, 2018.

6 SÍNTESE DO ESTUDO

Este capítulo apresenta a síntese do estudo, em conformidade com os objetivos da dissertação e os resultados das três etapas do procedimento metodológico. A primeira etapa foi realizada na primeira fase do estudo, que teve como resultado o primeiro artigo descrito no capítulo 3. A segunda etapa está presente na segunda fase do estudo, e resultou no segundo artigo, que é apresentado no capítulo 4. A terceira etapa finaliza a fase dois do estudo, e é apresentado no terceiro artigo do capítulo 5.

Portanto, os capítulos 3, 4 e 5 desta dissertação são relativos a artigos científicos, e compõem a estrutura de compêndio para apresentação dos resultados deste estudo. Para melhor compreensão, o Quadro 2 relaciona as fases, objetivos, resultados e contribuições de cada capítulo para a fundamentação da dissertação.

O capítulo 3 apresenta o passo-a-passo da revisão da literatura, conduzida por meio do método PRISMA, sobre resiliência na CS, bem como os fatores que contribuem no aprimoramento da resiliência, e foi dividido em duas etapas. A primeira tinha como objetivo identificar as definições acerca da resiliência na CS, bem como suas etapas. Já a segunda, encontrar os fatores que contribuem no aprimoramento da resiliência. Portanto, possui como resultado os três fatores: flexibilidade, colaboração e visibilidade que, segundo a literatura base, aprimoram a resiliência. São apresentadas as contribuições de cada um dos três fatores e há uma oportunidade de discutir como esses fatores influenciam um ao outro, como exemplo a influência da colaboração na visibilidade. É interessante desenvolver em trabalhos futuros, dentre os 24 fatores a relação de influência e, talvez, apresentar quais fatores se tornariam mais fortes em ativos ou receptivos da influência.

O segundo artigo que compõe essa dissertação é apresentado no capítulo 4. Este teve como objetivo propor um modelo conceitual com base nos fatores que aprimoram a resiliência e suas estratégias. Desta forma, ele apresenta um modelo conceitual, que é composto da tecnologia GD para monitoramento da CS em tempo real, e é apoiado pela tecnologia IoT, que permite rastreamento em tempo real do material ao longo da CS, assim como a tecnologia *blockchain*, para transparência e confiança entre os atores da CS. Este estudo (artigo 2) resultou em um modelo conceitual, que aprimora a resiliência, por possibilitar visibilidade de ponta a ponta da CS, e colaboração entre os participantes desta cadeia, agindo como apoio na tomada de decisão, por possibilitar análise dos possíveis impactos de uma interrupção e tempo hábil para definição da ação a ser tomada. Nesta etapa do estudo, o modelo restringe-se a utilização de apenas dois fatores, deixando o fator flexibilidade ausente no modelo. Assim, abrindo a

oportunidade de proposição de outro modelo que consiga integrar os três fatores para aprimorar a resiliência.

No capítulo 5, é apresentado o artigo 3 desta dissertação, com o resultado relacionado ao desenvolvimento computacional do modelo conceitual descrito no capítulo 4. O objetivo deste foi de verificar o desempenho da ampliação do modelo conceitual do capítulo 3. Para aplicação, foi adotada uma simplificação do modelo onde foram definidas as contribuições das tecnologias e estratégias quando presentes na CS. Com isso, foi desenhado uma CS hipotética, e foram simulados 29 cenários para a análise de desempenho da CS. Esta análise é baseada em 4 indicadores, que são atendimento de produtos no prazo, custo de manutenção de estoque, custo total e lucro.

Para a tradução do modelo conceitual em modelo computacional, foram definidas as contribuições resultantes da aplicação de cada tecnologia e estratégia, associadas a cada um dos três fatores, sendo utilizadas três variações de cada estratégia. As variações da estratégia de fornecimento *backup* são fornecimento único ou duplo, com localização na Europa, América do Sul ou ambas. Para o contrato inteligente da tecnologia *Blockchain*, assumiu-se como definição que quanto mais confiável for a informação e acesso a ela, mais ágil será a entrega do pedido. Portanto, a variação da estratégia de contrato inteligente é de 14 a 16 dias de prazo de entrega, para o modal marítimo, e para o modal rodoviário, de 3 a 5 dias.

Para a estratégia de monitoramento em tempo real, foi definido o tempo que o fornecedor *backup* é acionado. Entendendo que o gestor da cadeia tem autonomia na decisão, foi estabelecida a variação de imediato, 4h ou 1 dia para acionamento. Foi possível validar o modelo conceitual, dentro do contexto da simplificação, sendo verificados os fatores que contribuem no aprimoramento da resiliência e promovem a recuperação do desempenho após a incidência de uma interrupção.

Devido a simplificação utilizada, não é possível afirmar a contribuição do modelo de forma mais ampla, ou seja, em qualquer forma de influência de cada um dos fatores. Portanto, é necessário que em estudos futuros a implantação das tecnologias, e não suas contribuições, para a validação do modelo e de sua aplicabilidade. Também, avaliar os fatores individualmente e em conjunto, já que neste estudo foi realizado apenas eles integrados.

É necessário ressaltar que as conclusões tomadas neste estudo, são suportadas com a suposição de que as tecnologias, quando aplicadas, apresentam os resultados informados como variações de cada uma das estratégias. Desta forma, é necessário aprofundar o estudo para verificação se essas contribuições se comportam como as declaradas no estudo.

Quadro 2 – Resumo dos objetivos, resultados e contribuições

	Objetivos	Resultados	Contribuições
Etapa 1 Capítulo 3 - Artigo 1	Realizar uma revisão de literatura sobre resiliência da cadeia de suprimentos e identificar os fatores que aprimoram esta resiliência	(1) São identificados 24 fatores que contribuem na construção da resiliência. (2) São definidos como fatores que aprimoram a resiliência, os três fatores mais citados dentre a literatura utilizada no estudo. São os fatores: Flexibilidade, Colaboração e Visibilidade	A análise orientada permitiu uma visão geral da literatura em relação a resiliência da cadeia de suprimentos e os fatores que contribuem na sua construção. Assim, foi possível compreender os fatores mais indicados na literatura para aprimorar a resiliência da cadeia de suprimentos.
Etapa 2 Capítulo 4 - Artigo 2	Projetar um modelo conceitual de aprimoramento da resiliência na cadeia de suprimentos, integrando os fatores visibilidade e colaboração resultantes da etapa anterior.	(1) São definidas as tecnologias de gêmeo digital, blockchain e dispositivo IoT para composição do modelo conceitual (2) Desenvolvimento do modelo conceitual para o aprimoramento da resiliência na cadeia de suprimentos por meio da visibilidade e cofinança para apoio na tomada de decisão	Com base nas tecnologias pertencentes aos fatores definidos na etapa anterior, foi possível propor um conceito para aprimoramento da cadeia de suprimentos integrando as tecnologias gêmeo digital, blockchain e tecnologia IoT. Esta integração permite o desenvolvimento de um modelo conceitual que monitora a cadeia de suprimentos em tempo real por meio do rastreamento do fluxo do material e garante a confiança e transparência das informações compartilhadas entre os parceiros.
Etapa 3 Capítulo 5 - Artigo 3	Desenvolver um modelo de simulação para avaliar o uso dos fatores de aprimoramento da resiliência e comparar com um cenário de fluxo usual e um com interrupção em um caso teste de uma cadeia de suprimentos global e generalista.	(1) Foi evidenciada a aplicação do modelo por meio da aplicação das tecnologias e estratégia que apoiam os fatores visibilidade, colaboração e flexibilidade da cadeia de suprimentos como uma ferramenta de apoio na tomada de decisão. (2) Definição dos indicadores Atendimento de produtos no prazo, Lucro, Custo Total e Custo de manutenção de estoque para análise do desempenho da cadeia de suprimentos em cada cenário.	Foram realizados experimentos de simulação em 29 cenários que possibilitaram evidenciar a aplicabilidade do modelo de aprimoramento da resiliência com a utilização das contribuições das tecnologias (i) gêmeo digital para fornecer a visibilidade da cadeia de suprimentos por meio do acionamento imediato do fornecedor <i>backup</i> após a identificação de uma interrupção; (ii) a tecnologia blockchain com o contrato inteligente para garantir mais confiança e transparência no compartilhamento de informação de demanda e estoque entre os parceiros da CS possibilitando uma entrega mais ágil; e (iii) o fornecimento único <i>backup</i> para promover a flexibilidade da CS. Assim, o modelo proposto possibilita atingir até 81% do lucro em relação ao cenário base. Apresenta que o fator flexibilidade e sua estratégia de fornecimento flexível tem maior influência na recuperação do desempenho da cadeia de suprimentos.

Fonte: elaborado pela autora

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação propôs um modelo de aprimoramento da resiliência na CS, bem como evidenciar a eficácia da estratégia de recuperação, com base em um caso teste hipotético, utilizando a metodologia de eventos discretos para executar experimentos do modelo conceitual desenvolvido. O objetivo foi contribuir com a literatura, como uma ferramenta de apoio a tomada de decisões, em situações em que a CS sofre a incidência de interrupção.

Este estudo foi realizado em 3 fases, e dividido em quatro etapas para atingir o objetivo geral e os três objetivos específicos definidos. Estas etapas compreendem a análise da literatura, o desenvolvimento conceitual, a aplicação do modelo e a divulgação dos resultados. Na primeira etapa, denominada análise da teoria existente, foi realizada uma revisão das temáticas que suportam o desenvolvimento deste estudo, em que foi possível entender as definições acerca da resiliência da CS e definir os fatores que aprimoram a resiliência da mesma, concluindo assim o objetivo específico (i). Ao final desta etapa, foi estruturado o primeiro artigo desta dissertação, o qual foi publicado para disseminação dos resultados conceituais obtidos.

A segunda etapa do estudo resultou no segundo artigo dessa dissertação, que também foi publicado para disseminação, ainda, dos resultados conceituais. Nesta etapa, foi proposto um modelo conceitual combinando tecnologias digitais e estratégias de dois fatores apresentados na etapa anterior, de forma a atender ao objetivo específico (ii).

Na terceira etapa do estudo, denominada desenvolvimento computacional, o modelo conceitual foi traduzido em um modelo computacional, utilizando a ferramenta *Anylogistix*[®]. Foi definido um caso teste hipotético, para avaliar o desempenho do modelo conceitual frente a presença de uma interrupção da CS, atendendo desta forma ao objetivo específico (iii). Foram elaborados cenários com configuração para um cenário base, outro com incidência de interrupção e outro que aplica as estratégias de recuperação em cenários com interrupção, analisando-se então a *performance* da CS com base nos indicadores atendimento de produto no prazo, custo de manutenção de estoque, custo total e lucro.

Assim, a terceira etapa resultou no terceiro artigo, que finaliza a construção da dissertação, concluindo-se a quarta etapa deste estudo. Neste terceiro artigo, foi adotada uma simplificação da ampliação do modelo conceitual da segunda etapa. Desta forma, a partir dos resultados obtidos nas quatro etapas, é possível afirmar que o objetivo geral, propor um modelo conceitual com base nas tecnologias da indústria 4.0 para aprimoramento da resiliência, foi alcançado dentro do contexto, limitações que a simplificação apresenta, utilizado na última

etapa deste estudo, o qual verifica como positivo o desempenho da CS com a aplicação das contribuições das tecnologias adotadas. Portanto, com a utilização da simulação, é possível observar o impacto da interrupção no desempenho de uma CS e como as estratégias que fazem parte do modelo de aprimoramento da resiliência contribuem para a recuperação do desempenho.

Por fim, os resultados contribuem na visão conceitual acerca da resiliência, apresentando seu impacto positivo na mitigação de riscos, bem como suas estratégias. Também, é considerada uma ferramenta de apoio à tomada de decisões, que integram tecnologias digitais.

7.1 OPORTUNIDADES PARA ESTUDOS FUTUROS

Esta dissertação possui algumas limitações, as quais indicam oportunidades de pesquisa para estudos futuros. Primeiro, todos os fatores escolhidos apresentam diversas estratégias relacionadas. Portanto, aplicar as tecnologias e ampliar a simplificação utilizada, possibilitará o conhecimento de forma mais ampla da influência de cada estratégia. Utilizar outras estratégias, diferentes das aplicadas neste estudo, podem apresentar resultados diferentes e contribuições. Segundo, neste estudo, a verificação do desempenho do modelo foi realizada em um cenário hipotético. Logo, o desenvolvimento de uma análise em um caso real, com variação dos parâmetros, pode ser considerado de significativa contribuição.

A utilização dos fatores individualmente também pode ser objeto de estudo futuro, assim como a integração e relação entre eles. Possibilitando o entendimento de como influenciam um ao outro e como as tecnologias suportam a cada um.

Também, a proposta de um modelo que integre os três fatores, diferente do estudo atual que utilizou apenas dois fatores no modelo, é uma oportunidade de explorar as contribuições dos fatores para a resiliência. Em suma, um estudo com a utilização mais robusta dos fatores e estratégias/tecnologias associadas, permitirá mais propriedade na identificação da contribuição dos três fatores na construção da resiliência.

REFERÊNCIAS

AL-TALIB, M. et al. Achieving resilience in the supply chain by applying IoT technology. **Procedia CIRP**, v. 91, n. March, p. 752–757, 2020.

ALVARENGA, M. Z. et al. Sua Cadeia De Suprimentos Está Preparada Para a Próxima Interrupção? Construindo Cadeias Resilientes. **Revista de Administração de Empresas**, v. 62, n. 1, p. 1–17, 2022.

AMIRI ARA, R.; PAARDENKOOPEER, K.; VAN DUIN, R. A new blockchain system design to improve the supply chain of engineering, procurement and construction (EPC) companies – a case study in the oil and gas sector. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 20, n. 4, p. 887–913, 2022.

AZADEH, A. et al. Modelling and improvement of supply chain with imprecise transportation delays and resilience factors. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 17, n. 4, p. 269–282, 2014.

BRUSSET, X.; TELLER, C. Supply chain capabilities, risks, and resilience. **International Journal of Production Economics**, v. 184, n. June 2016, p. 59–68, 2017.

CHEN, L.; DUI, H.; ZHANG, C. A resilience measure for supply chain systems considering the interruption with the cyber-physical systems. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 199, n. December 2019, p. 106869, 2020.

DE SA, M. M.; PRIM, A. L.; BIROU, L. With major risks comes great resilience: the COVID-19 effect on SMEs in a developing country. **Operations Management Research**, n. 0123456789, 2023.

DUBEY, R. et al. Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience. **International Journal of Production Research**, v. 0, n. 0, p. 1–19, 2019.

EKANAYAKE, E. M. A. C.; SHEN, G. Q. P.; KUMARASWAMY, M. M. Identifying supply chain capabilities of construction firms in industrialized construction. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–19, 2020.

HAN, Y.; CHONG, W. K.; LI, D. A systematic literature review of the capabilities and performance metrics of supply chain resilience. **International Journal of Production Research**, p. 1–26, 2020.

HOSSEINI, S.; IVANOV, D.; DOLGUI, A. Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 125, n. February, p. 285–307, 2019.

IVANOV, D.; DOLGUI, A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020.

JUAN, S. J.; LI, E. Y.; HUNG, W. H. An integrated model of supply chain resilience and its impact on supply chain performance under disruption. **International Journal of Logistics Management**, v. 33, n. 1, p. 339–364, 2022.

KUMAR, S.; ANBANANDAM, R. Impact of risk management culture on supply chain resilience: An empirical study from Indian manufacturing industry. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability**, v. 234, n. 2, p. 246–259, 2020.

LOHMER, J.; BUGERT, N.; LASCH, R. Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. **International Journal of Production Economics**, v. 228, n. September 2019, p. 107882, 2020.

MANDAL, S. et al. Achieving supply chain resilience: The contribution of logistics and supply chain capabilities. **International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment**, v. 7, n. 5, p. 544–562, 2016.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The

PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009.

MOOSAVI, J.; FATHOLLAHI-FARD, A. M.; DULEBENETS, M. A. Supply chain disruption during the COVID-19 pandemic: Recognizing potential disruption management strategies. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 75, n. February, p. 102983, 2022.

MOOSAVI, J.; HOSSEINI, S. Simulation-based assessment of supply chain resilience with consideration of recovery strategies in the COVID-19 pandemic context. **Computers and Industrial Engineering**, v. 160, n. July, p. 107593, 2021.

POBERSCHNIGG, T. F. DA S.; PIMENTA, M. L.; HILLETOFTH, P. How can cross-functional integration support the development of resilience capabilities? The case of collaboration in the automotive industry. **Supply Chain Management**, v. 25, n. 6, p. 789–801, 2020.

RAJESH, R. A grey-layered ANP based decision support model for analyzing strategies of resilience in electronic supply chains. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 87, n. June 2016, p. 103338, 2020.

SARFARAZ, A.; CHAKRABORTTY, R. K.; ESSAM, D. L. The implications of blockchain-coordinated information sharing within a supply chain: A simulation study. **Blockchain: Research and Applications**, v. 4, n. 1, p. 100110, 2023.

SCHOLTEN, K.; SCHILDER, S. The role of collaboration in supply chain resilience. **Supply Chain Management**, v. 20, n. 4, p. 471–484, 2015.

SONI, U.; JAIN, V. Minimizing the vulnerabilities of supply chain: A new framework for enhancing the resilience. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, p. 933–939, 2011.

SPIESKE, A.; BIRKEL, H. Improving supply chain resilience through industry 4.0: A systematic literature review under the impressions of the COVID-19 pandemic. **Computers and Industrial Engineering**, v. 158, n. June, p. 107452, 2021.

TAN, W. J.; ZHANG, A. N.; CAI, W. A graph-based model to measure structural redundancy

for supply chain resilience. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 20, p. 6385–6404, 2019.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. **Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI**, p. 191, 2012.

VIEL, I. et al. RESILIÊNCIA NA CADEIA DE SUPRIMENTOS : REVISÃO. 2022.

VLACHOS, D. et al. Building robust supply chains by reducing vulnerability and improving resilience. **International Journal of Agile Systems and Management**, v. 5, n. 1, p. 59–81, 2012.

APÊNDICE A - CENÁRIO BASE

Table Name	Sheet Name
Scenario settings	<u>Scenario settings</u>
BOM	<u>BOM</u>
BOM Components	<u>BOM Components</u>
Customers	<u>Customers</u>
DCs and Factories	<u>DCs and Factories</u>
Demand	<u>Demand</u>
Events	<u>Events</u>
Facility Expenses	<u>Facility Expenses</u>
Inventory	<u>Inventory</u>
Locations	<u>Locations</u>
Paths	<u>Paths</u>
Periods	<u>Periods</u>
Production	<u>Production</u>
Products	<u>Products</u>
Shipping	<u>Shipping</u>
Shipping Destinations	<u>Shipping Destinations</u>
Sourcing	<u>Sourcing</u>
Sourcing Sources	<u>Sourcing Sources</u>
Suppliers	<u>Suppliers</u>
Vehicle Types	<u>Vehicle Types</u>
Experiments	<u>Experiments</u>
Experiment Statistics Settings	<u>Experiment Statistics Settings</u>
Experiment Dashboards	<u>Experiment Dashboards</u>
Experiment Processors	<u>Experiment Processors</u>
Project Units	<u>Project Units</u>
Project Unit Conversions	<u>Project Unit Conversions</u>
Icons	<u>Icons</u>

Property	Value
Name	Artigo 3 - Cenário Normal
Type	SIM
Description	
Creation date	4/19/23 00:00:00
Scenario Version	2.15.0

ID	Name	End Product	Quantity
BOM	BOM	Product	1

BOM ID	Product	Quantity
BOM	Materia prima	1

ID	Name	Type	Location	Inclusion Type	Icon
Customer 1	Customer	Customer	Customer location	Include	4
Customer 2	Customer 2	Customer	Customer 2 location	Include	4
Customer 3	Customer 3	Customer	Customer 3 location	Include	4
Customer 4	Customer 4	Customer	Customer 4 location	Include	4
Customer 5	Customer 5	Customer	Customer 5 location	Include	4
Customer 6	Customer 6	Customer	Customer 6 location	Include	4
Customer 7	Customer 7	Customer	Customer 7 location	Include	4
Customer 8	Customer 8	Customer	Customer 8 location	Include	4
Customer 9	Customer 9	Customer	Customer 9 location	Include	4

ID	Name	Type	Location	Initially Open	Inclusion Type	Capacity
DCs and Factorie 10	DC	DC	DC location	VERDADEIRO	Include	480000
DCs and Factorie 11	FACT 1	Factory	FACT 1 location	VERDADEIRO	Include	690000
DCs and Factorie 12	FACT 2	Factory	FACT 2 location	VERDADEIRO	Include	1860000

Capacity Unit	Aggregate Orders by Location	Icon
pcs	FALSO	2
pcs	FALSO	3
pcs	FALSO	3

ID	Customer	Product	Demand Type	Col 1	Col 2
Demand 13	Customer	Product	PeriodicDemand	First occurrence	First day
Demand 14	Customer 2	Product	PeriodicDemand	First occurrence	First day
Demand 15	Customer 3	Product	PeriodicDemand	First occurrence	First day
Demand 16	Customer 4	Product	PeriodicDemand	First occurrence	First day
Demand 17	Customer 5	Product	PeriodicDemand	First occurrence	First day
Demand 18	Customer 6	Product	PeriodicDemand	First occurrence	First day
Demand 19	Customer 7	Product	PeriodicDemand	First occurrence	First day
Demand 20	Customer 8	Product	PeriodicDemand	First occurrence	First day
Demand 21	Customer 9	Product	PeriodicDemand	First occurrence	First day

Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Col 9	Col 10	Time Period	Revenue
Order interval, days	Value	Value	10	Quantity	Value	Value	50000	(All periods)	0
Order interval, days	Value	Value	10	Quantity	Value	Value	50000	(All periods)	0
Order interval, days	Value	Value	10	Quantity	Value	Value	60000	(All periods)	0
Order interval, days	Value	Value	10	Quantity	Value	Value	40000	(All periods)	0
Order interval, days	Value	Value	10	Quantity	Value	Value	60000	(All periods)	0
Order interval, days	Value	Value	10	Quantity	Value	Value	50000	(All periods)	0
Order interval, days	Value	Value	10	Quantity	Value	Value	90000	(All periods)	0
Order interval, days	Value	Value	10	Quantity	Value	Value	60000	(All periods)	0
Order interval, days	Value	Value	10	Quantity	Value	Value	120000	(All periods)	0

Currency	Expected Lead Time	Time Unit	Backorder Policy	Inclusion Type
USD		15 day	AllowedTotal	Include
USD		15 day	AllowedTotal	Include
USD		15 day	AllowedTotal	Include
USD		35 day	AllowedTotal	Include
USD		35 day	AllowedTotal	Include
USD		35 day	AllowedTotal	Include
USD		30 day	AllowedTotal	Include
USD		30 day	AllowedTotal	Include
USD		30 day	AllowedTotal	Include

ID	Name	Event Type	Col 1
Event 22	1ª Interrupção	FacilityStateChange	Changes state to
Event 23	Abertura após 1ª Interrupção	FacilityStateChange	Changes state to

Col 2	Col 3	Col 4	Occurrence Type	Occurrence Time	Col 5	Col 6
Temporarily closed	Object	Supplier	Date	3/14/19 00:00:00		
Open	Object	Supplier	Delay	Value	Value	20

Trigger	Probability
	0
1ª Interrupção	0

ID	Facility	Expense Type	Value	Currency	Time Unit	Product Unit
Facility Expense 24	(All sites)	otherCost	4,5	USD	day	
Facility Expense 25	(All sites)	facilityCost	0,8	USD	day	pcs
Facility Expense 26	(All sites)	carryingCost	0,5	USD	day	pcs

Time Period

- (All periods)
- (All periods)
- (All periods)

ID	Facility	Product	Policy Type	Col 1	Col 2	Col 3	Col 4
Inventory 27	DC	Product	InventoryPolicyMinMax	Max	360000	Min	240000
Inventory 28	FACT 1	Materia prima	InventoryPolicyMinMax	Max	517000	Min	345000
Inventory 29	FACT 2	Materia prima	InventoryPolicyMinMax	Max	1395000	Min	930000
Inventory 30	FACT 1	Product	InventoryPolicyMinMax	Max	517000	Min	345000
Inventory 31	FACT 2	Product	InventoryPolicyMinMax	Max	1395000	Min	930000

Initial Stock, units	Periodic Check	Period	First Periodic Check	Policy Basis
120000	FALSO	1	1/1/19 00:00:00	Quantity
172000	FALSO	1	1/1/19 00:00:00	Quantity
465000	FALSO	1	1/1/19 00:00:00	Quantity
172000	FALSO	1	1/1/19 00:00:00	Quantity
465000	FALSO	1	1/1/19 00:00:00	Quantity

Stock Calculation Window	Time Unit	Time Period	Inclusion Type
	0 day	(All periods)	Include
	0 day	(All periods)	Include
	0 day	(All periods)	Include
	0 day	(All periods)	Include
	0 day	(All periods)	Include

ID	Code	Name	City	Region	Country	Address	Latitude
DC location		DC location					43,83452678
Customer location		Customer location					54,36775852
Customer 2 location		Customer 2 location					43,73141401
Customer 3 location		Customer 3 location					40,17887331
Customer 4 location		Customer 4 location					23,8858377
Customer 5 location		Customer 5 location					45,58328976
Customer 6 location		Customer 6 location					57,70414723
Customer 7 location		Customer 7 location					-3,513421046
Customer 8 location		Customer 8 location					-39,63953756
Customer 9 location		Customer 9 location					-8,407168164
FACT 1 location		FACT 1 location					42,84375133
FACT 2 location		FACT 2 location					-2,635788574
Supplier location		Supplier location					25,72073513

Longitude	Autofill Coordinates
-104,0625	FALSO
-0,703125	FALSO
10,45898438	FALSO
-3,515625	FALSO
-101,25	FALSO
-111,796875	FALSO
-118,828125	FALSO
-70,6640625	FALSO
-63,984375	FALSO
-47,8125	FALSO
13,74389648	FALSO
-45,17578125	FALSO
116,2792969	FALSO

ID	From	To	Cost Calculation
Path 45	Supplier location	FACT 1 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 46	FACT 1 location	Customer location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 47	FACT 1 location	Customer 2 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 48	FACT 1 location	Customer 3 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 49	Supplier location	FACT 2 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 50	FACT 2 location	Customer 7 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 51	FACT 2 location	Customer 8 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 52	FACT 2 location	Customer 9 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 53	FACT 1 location	DC location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 54	FACT 2 location	DC location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 55	DC location	Customer 4 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 56	DC location	Customer 5 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 57	DC location	Customer 6 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 58	FACT 1 location	Customer location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 59	FACT 1 location	Customer 2 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 60	FACT 1 location	Customer 3 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 61	DC location	Customer 4 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 62	DC location	Customer 5 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 63	DC location	Customer 6 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 64	FACT 2 location	Customer 7 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 65	FACT 2 location	Customer 8 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 66	FACT 2 location	Customer 9 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 67	FACT 2 location	DC location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 68	Supplier location	FACT 1 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 69	FACT 1 location	DC location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 70	Supplier location	FACT 1 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 71	Supplier location	FACT 1 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 72	Supplier location	FACT 2 location	TransportationCostCalculatorFixed
Path 73	FACT 2 location	DC location	TransportationCostCalculatorFixed

[illegible]

Col 6	Time Unit	Straight	Vehicle Type	Time Period	Name	Inclusion Type
	15 day	VERDADEIRO	ship SF1	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 1	(All periods)		Include
	2 day	VERDADEIRO	Truck 2	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 3	(All periods)		Include
	30 day	VERDADEIRO	Ship SF2	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 7	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 8	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 9	(All periods)		Include
	15 day	VERDADEIRO	Ship FD	(All periods)		Include
	15 day	VERDADEIRO	SHIP F2D.1	(All periods)		Include
	2 day	VERDADEIRO	Truck 4	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 5	(All periods)		Include
	2 day	VERDADEIRO	Truck 6	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 1.1	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 2.1	(All periods)		Include
	2 day	VERDADEIRO	Truck 3.1	(All periods)		Include
	2 day	VERDADEIRO	Truck 4.1	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 5.1	(All periods)		Include
	2 day	VERDADEIRO	Truck 6.1	(All periods)		Include
	2 day	VERDADEIRO	Truck7.1	(All periods)		Include
	2 day	VERDADEIRO	Truck 8.1	(All periods)		Include
	1 day	VERDADEIRO	Truck 9.1	(All periods)		Include
	15 day	VERDADEIRO	SHIP F2D.2	(All periods)		Include
	15 day	VERDADEIRO	ship SF1.1	(All periods)		Include
	15 day	VERDADEIRO	Ship FD.1	(All periods)		Include
	15 day	VERDADEIRO	ship SF1.3	(All periods)		Include
	15 day	VERDADEIRO	ship SF1.2	(All periods)		Include
	30 day	VERDADEIRO	Ship SF2.1	(All periods)		Include
	15 day	VERDADEIRO	SHIP F2D	(All periods)		Include

ID	Name	Start	End	Demand Coefficient
Time period	Time period	1/1/19 00:00:00	12/31/19 00:00:00	1

ID	Site	Product	Type	Col 1	Col 2	Col 3
Production 75	FACT 1	Product	ProductionTypeMake	Production time per unit	Value	Value
Production 76	FACT 2	Product	ProductionTypeMake	Production time per unit	Value	Value

Col 4	Col 5	Col 6	BOM	Production Cost	Currency	CO2 per product	Time Period
2,5	Time unit	second	BOM	3	USD		0 (All periods)
2,5	Time unit	second	BOM	3	USD		0 (All periods)

Inclusion Type

Include

Include

ID	Name	Unit	Selling Price	Cost	Currency
Product	Product	pcs	51,8	1	USD
Materia prima	Materia prima	pcs	0	1	USD

ID	Sources	Product	Vehicle Type	Type	Col 1
Shipping 79	Supplier	Materia prima	ship SF1.2	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 80	FACT 1	Product	Truck 1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 81	FACT 1	Product	Truck 2	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 82	FACT 1	Product	Truck 3	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 83	Supplier	Materia prima	Ship SF2	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 84	FACT 2	Product	Truck 7	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 85	FACT 2	Product	Truck 8	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 86	FACT 2	Product	Truck 9	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 87	FACT 1	Product	Ship FD	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 88	DC	Product	Truck 4	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 89	DC	Product	Truck 5	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 90	DC	Product	Truck 6	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 91	FACT 1	Product	Truck 1.1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 92	FACT 1	Product	Truck 2.1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 93	FACT 1	Product	Truck 3.1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 94	DC	Product	Truck 4.1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 95	DC	Product	Truck 5.1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 96	DC	Product	Truck 6.1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 97	FACT 2	Product	Truck7.1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 98	FACT 2	Product	Truck 8.1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 99	FACT 2	Product	Truck 9.1	ShippingPolicyFTL	Min load ratio
Shipping 100	Supplier	Materia prima	ship SF1.3	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 101	FACT 1	Product	Ship FD.1	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 102	Supplier	Materia prima	ship SF1.1	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 103	Supplier	Materia prima	ship SF1	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 104	Supplier	Materia prima	Ship SF2.1	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 105	FACT 2	Product	SHIP F2D.1	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 106	FACT 2	Product	SHIP F2D	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery
Shipping 107	FACT 2	Product	SHIP F2D.2	ShippingPolicyLTL	Forbid partial delivery

[illegible]

Shipping ID	Contents
Shipping 79	FACT 1
Shipping 80	Customer
Shipping 81	Customer 2
Shipping 82	Customer 3
Shipping 83	FACT 2
Shipping 84	Customer 7
Shipping 85	Customer 8
Shipping 86	Customer 9
Shipping 87	DC
Shipping 88	Customer 4
Shipping 89	Customer 5
Shipping 90	Customer 6
Shipping 91	Customer
Shipping 92	Customer 2
Shipping 93	Customer 3
Shipping 94	Customer 4
Shipping 95	Customer 5
Shipping 96	Customer 6
Shipping 97	Customer 7
Shipping 98	Customer 8
Shipping 99	Customer 9
Shipping 100	FACT 1
Shipping 101	DC
Shipping 102	FACT 1
Shipping 103	FACT 1
Shipping 104	FACT 2
Shipping 105	DC
Shipping 106	DC
Shipping 107	DC

ID	Delivery Destination	Product	Type	Time Period
Sourcing 108	(All customers)	Product	SourcingTypeMultipleCheapest	(All periods)
Sourcing 109	FACT 1	Materia prima	SourcingTypeMultipleCheapest	(All periods)
Sourcing 110	FACT 2	Materia prima	SourcingTypeMultipleCheapest	(All periods)
Sourcing 111	DC	Product	SourcingTypeMultipleCheapest	(All periods)

Inclusion Type

- Include
- Include
- Include
- Include

Sourcing ID	Contents
Sourcing 108	DC
Sourcing 108	FACT 1
Sourcing 108	FACT 2
Sourcing 109	Supplier
Sourcing 110	Supplier
Sourcing 111	FACT 1
Sourcing 111	FACT 2

ID	Name	Type	Location	Inclusion Type	Icon
Supplier 112	Supplier	Supplier	Supplier location	Include	5

ID	Name	Capacity	Capacity Unit	Speed	Col 1	Col 2	Speed Unit
Ship SF2	Ship SF2	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
Truck 1	Truck 1	40000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 2	Truck 2	40000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 3	Truck 3	40000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 4	Truck 4	50000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 5	Truck 5	50000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 6	Truck 6	50000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 7	Truck 7	60000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 8	Truck 8	65000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 9	Truck 9	65000	pcs	Value	Value	88	km/h
SHIP F2D.1	SHIP F2D.1	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
Ship FD	Ship FD	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
Truck 11	Truck 11	80000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 1.1	Truck 1.1	30000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 2.1	Truck 2.1	30000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 3.1	Truck 3.1	30000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 4.1	Truck 4.1	50000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck7.1	Truck7.1	65000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 5.1	Truck 5.1	50000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 6.1	Truck 6.1	60000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 8.1	Truck 8.1	65000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 9.1	Truck 9.1	65000	pcs	Value	Value	88	km/h
SHIP F2D.2	SHIP F2D.2	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
Truck 11.1	Truck 11.1	80000	pcs	Value	Value	88	km/h
Ship FD.1	Ship FD.1	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
Truck 11.2	Truck 11.2	80000	pcs	Value	Value	88	km/h
Truck 11.3	Truck 11.3	80000	pcs	Value	Value	88	km/h
Ship SF2.1	Ship SF2.1	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
SHIP F2D	SHIP F2D	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
ship SF1	ship SF1	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
ship SF1.1	ship SF1.1	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
ship SF1.2	ship SF1.2	630000	pcs	Value	Value	50	km/h
ship SF1.3	ship SF1.3	630000	pcs	Value	Value	50	km/h