



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



DINÂMICA DE DEMANDA NO IMPACTO DE EVENTOS DE RUPTURAS: A CADEIA DE SUPRIMENTO DE LATAS DE ALUMÍNIO NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

RAFAEL FIDELIS – rfidelis@ufabc.edu.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - UFABC – SÃO BERNARDO DO CAMPO

RAFAEL DE LOURENÇO ROSSINI CAPUSSO – lrossini_23@hotmail.com

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - UFABC – SÃO BERNARDO DO CAMPO

DOUGLAS ALVES CASSIANO – douglas.cassiano@ufabc.edu.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - UFABC – SÃO BERNARDO DO CAMPO

SERGIO RICARDO LOURENÇO – sergio.lourenco@ufabc.edu.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - UFABC – SÃO BERNARDO DO CAMPO

ÁREA: 2. LOGÍSTICA

SUBÁREA: 2.1 – GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

RESUMO: ESTE ESTUDO ANALISA A INFLUÊNCIA DA DINÂMICA DE DEMANDA SOBRE OS IMPACTOS DE EVENTOS DE RUPTURA NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE LATAS DE ALUMÍNIO NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS, COM FOCO NA PANDEMIA DE COVID-19 E NA SECA SEVERA DO RIO AMAZONAS EM 2023. UTILIZANDO UMA ABORDAGEM QUANTITATIVA, FORAM COLETADOS E ANALISADOS DADOS SOBRE A DEMANDA DO MERCADO DE LATAS PARA COMPARAR A PERFORMANCE OPERACIONAL DURANTE E APÓS OS EVENTOS DE RUPTURA. OS RESULTADOS INDICAM UM PERFIL DE CRESCIMENTO DA DEMANDA DE 13,49% AO MÊS DURANTE A PANDEMIA FAVORECEU A RECUPERAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS, ENQUANTO A QUEDA DE DEMANDA DE 2,97% DURANTE A SECA DO RIO AMAZONAS AGRAVOU OS IMPACTOS NEGATIVOS. A SOMA ABSOLUTA DAS VARIAÇÕES DE MASSA DE INVENTÁRIO METAL FOI 75,5% MAIOR DURANTE A SECA, CORROBORANDO COM OS MODELOS PRESENTES NA LITERATURA E EVIDENCIANDO QUE A DINÂMICA DA DEMANDA PÓS-RUPTURA É CRUCIAL NA MODULAÇÃO DOS IMPACTOS DESSES EVENTO. O ESTUDO CONCLUI QUE ESTRATÉGIAS DE RESILIÊNCIA ADAPTATIVAS SÃO ESSENCIAIS PARA MITIGAR OS EFEITOS ADVERSOS DAS RUPTURAS E GARANTIR A CONTINUIDADE OPERACIONAL, DESTACANDO A IMPORTÂNCIA DE CONSIDERAR A VARIABILIDADE DA DEMANDA NA GESTÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS.

PALAVRAS-CHAVES: RUPTURA; CADEIA DE SUPRIMENTOS; LATAS DE ALUMÍNIO; POLO INDUSTRIAL DE MANAUS.

1. INTRODUÇÃO

As cadeias de suprimentos são sistemas complexos constituídos por um conjunto de 3 ou mais entidades, empresas ou indivíduos, diretamente envolvidas em um fluxo a jusante e a montante de materiais, serviços e informações com o objetivo de levar um produto de uma fonte até o consumidor final. Essas cadeias são responsáveis por fornecer a maioria dos produtos e serviços que permitem o estilo de vida da sociedade moderna e assim como todos os sistemas complexos estão expostas a um conjunto de riscos multifacetados que podem comprometer seu desempenho e performance. Dessa forma garantir a efetiva coordenação entre seus elos e aplicação correta de medidas de resiliência são fundamentais para assegurar sua lucratividade geral e longevidade.

A ciência que estuda essas cadeias é chamada de gerenciamento das cadeias de suprimentos, ou no inglês de *Supply Chain Management* (SCM), e tem por objetivo maximizar seu valor gerado. Esse artigo visa contribuir com esta ciência apresentando um estudo de caso comparativo entre dois eventos de ruptura distintos ocorridos sobre uma mesma cadeia de suprimentos a fim de identificar a influência da dinâmica da demanda durante e após o processo de ruptura. O objeto de estudo se trata da cadeia de suprimentos de tampas para latas de alumínio, constituída de uma fábrica de tampas para latas de alumínio localizada na cidade de Manaus, no estado do Amazonas, seus fornecedores e clientes. Um único fornecedor de chapas metálicas localizado na cidade de Pindamonhangaba, no estado de São Paulo e fornecendo tampas exclusivamente para duas plantas de corpos, uma localizada na cidade de Jacareí, também no estado de São Paulo, e outra na cidade de Alagoinhas, no estado da Bahia.

O Polo Industrial de Manaus (PIM) foi criado em 1967 como parte de uma estratégia nacional para integrar a Amazônia ao restante do país, estimular o crescimento da região e reduzir a desigualdade nacional. Para isso o governo ofereceu as empresas que se instalassem na região uma série de benefícios fiscais e tributários, assim como investimentos significativos em infraestrutura, porém mesmo após 57 anos a região ainda enfrenta desafios logísticos significativos caracterizados por particularidades de sua própria geografia e localização como grande dependência do modal fluvial, com falta de alternativas capazes de transportar o elevado fluxo de passageiros e cargas necessários para abastecimento da região, assim como grande distância em relação aos demais polos industriais do país resultando em maiores tempos de viagem e custos de transporte.

Devido as essas deficiências as cadeias de suprimentos na região estão expostas a elevado risco de rupturas das mais diferentes naturezas, com inúmeros exemplos observados

nos últimos anos. Em particular este estudo foca em dois eventos recentes de baixa probabilidade e alto impacto, o primeiro se trata da pandemia de Covid-19 que afetou gravemente a região de Manaus resultando no colapso total do sistema de saúde e incapacitando diversas partes do sistema produtivo da região, com diversos trabalhadores indisponíveis ou incapazes de acessar seus locais de trabalho. O outro evento de interesse é a ruptura gerada pela seca severa que afetou o Rio Amazonas no final do ano de 2023, este evento também teve um impacto local agravado já que a alta dependência do modal fluvial torna a logística na cidade extremamente vulnerável a esse tipo de risco ambiental, potencializando ainda mais suas consequências.

Para as empresas que atuam na região esse desafio se traduz em elevado custo logístico associado a um elevado risco de ruptura, tornando árdua a tarefa de qualquer gerente logístico que busque balancear os esforços de eficiência (lean) e responsividade (agile) dentro de uma cadeia de suprimentos na região. Nesse sentido compreender que nem todos os tipos de rupturas são iguais ou afetam essas cadeias da mesma maneira se torna crucial para adaptar as políticas de resiliência ao momento vivido. Está pesquisa endereça a pergunta sobre como fatores operacionais externos, em específico a demanda, contribuem para agravar ou mitigar os impactos dos eventos de ruptura nas cadeias de suprimento de tampas para latas de alumínio.

O objetivo do presente artigo é investigar como os fatores externos podem influenciar o desempenho desses sistemas. Para atingir este objetivo foram determinados o seguinte objetivo específico:

1. Coletar e analisar dados sobre sua performance operacional e dinâmica de demanda durante os períodos de ruptura;
2. Comparar os resultados com os modelos teorizados na literatura

2. REVISÃO DA LITERATURA

GERENCIAMENTO DE RISCO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS

O gerenciamento de risco aplicado as cadeias de suprimento envolvem todo processo relacionado a identificação, avaliação e mitigação de riscos que possam impactar a eficiência e a efetividade das organizações dentro de uma cadeia de suprimento (JÜTTNER, 2005; MANUJ; MENTZER, 2008). Seu objetivo principal é mitigar os efeitos negativos de um evento adversos a cadeia e ao mesmo tempo fortalecer suas características positivas através do desenvolvimento de sistemas mais robustos e resilientes (BARYANNIS et al., 2019; FAN; STEVENSON, 2018; KATSALIAKI; GALETSI; KUMAR, 2021).

O estado atual da pesquisa de gerenciamento de risco aplicado as cadeias de suprimento são marcadas por uma abordagem multifacetada focada em identificar, avaliar e mitigar os diferentes riscos ao quais esses sistemas estão expostos através da aplicação de metodologia inovadora e o uso de tecnologias avançadas de digitalização, análise de dados e *machine learning* (SARKAR; DAS, 2023). A identificação proativa de risco é de longe o foco central das pesquisas na área com estudos que destacam a importância crucial de uma previsão acurada de riscos futuros, monitoramento contínuo e priorização dentro dos esforços de mitigar seus impactos. O gerenciamento adequado dos recursos logísticos também tem um papel de destaque no campo com estudos que mostram como a função de prestadores logísticos, no inglês chamados de Logistic Service Providers (LSPs), pode mitigar ou agravar esses riscos, expondo a necessidade de estabelecer processos efetivos de colaboração e contratação a fim de se obter os resultados desejados (CHOI, 2021).

A integração entre os atributos de lean, agile e green para a construção de cadeias mais resilientes também é largamente discutido na literatura que mostra que modelos híbridos, que combinam aspectos desses três atributos são predominantes na prática operacional. O artigo escrito por MARYNIAK (2022) discute a relação desses modelos e sua intersecção com as práticas de resiliência. O autor conclui que existe uma dissonância na literatura atual, onde as estratégias adotadas dentro do modelo agile são comumente atribuídas as práticas de resiliência enquanto na realidade modelo híbridos com traços predominantes de atributos lean, como redução de custos e resíduos, também servem como ferramentas importantes na construção de sistemas mais robustos e resilientes.

Em adição as abordagens tradicionais de gerenciamento de risco, a literatura recente também é marcada pelo amadurecimento das tecnologias de digitalização, advindos da indústria 4.0. No estudo publicado por SARKAR e DAS (2023) os autores conduzem uma revisão sistemática da literatura para avaliar o crescente papel de tecnologias como *Machine Learning* e *Deep learning techniques* no processo de avaliação de riscos financeiros atribuído a esses sistemas. Os modelos encontrados utilizam conjunto de dados diversos e ferramentas sofisticadas de análise, apesar de desafios recorrentes como a integração e balanceamento dos dados permanecerem. O conceito de gêmeo digital aplicado as cadeias de suprimentos também vêm se consolidando fornecendo visibilidade em tempo real e incrementando a capacidade preditiva das organizações, e através desses melhorar o processo decisório a fim de garantir a continuidade das operações frente a eventos disruptivos. De forma geral a literatura sobre o tema explora forma de alavancar o uso de tecnologias avançadas combinando com modelos de gestão híbridos a fim de criar ecossistemas mais resilientes e adaptativos (REMKO, 2020).

2.1. RUPTURAS EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

O risco ao quais esses sistemas estão expostos podem ser classificados com base em sua intensidade e frequência. Riscos de alta frequência e baixa intensidade são considerados de cunho operacional e sua propagação pela cadeia de suprimentos ocorre a luz do efeito chicote com consequentes flutuações de demanda e lead-time. Os eventos que possuem capacidade de interromper ou atrapalhar o fluxo normal de produtos e serviços dentro de uma cadeia, caracterizado por uma elevada intensidade e baixa frequência são chamados de **eventos de rupturas**, ou simplesmente de **ruptura** (DOLGUI; IVANOV; ROZHKOV, 2020). Esses eventos se originam de diversas maneiras, seja por motivos ambientais, como desastres naturais ou epidemias, como também por motivos humanos, como recessões econômicas, mudanças regulatórias e/ou instabilidade política (KATSALIAKI; GALETSI; KUMAR, 2021).

As otimizações matemáticas e estocásticas dominaram o campo de pesquisa na área, contudo com cada grande incidente houve um incentivo à comunidade científica de renovar seus esforços na busca de metodologias e técnicas de previsão e prevenção desses eventos. A literatura atual indica um crescente interesse na integração de técnicas de sustentabilidade e de resiliência, motivados principalmente pela ruptura causada pela pandemia de Covid-19 e com progressos substanciais feitos na aplicação de técnicas de simulação e modelagem computacional como metodologia no estudo desses fenômenos, ajudando a responder perguntas como: Quando e como uma falha inicia uma sequência de falhas em processos adjacentes? Quais estrutura da cadeia de suprimento são mais vulneráveis a esse tipo de ocorrência? Quais são os cenários típicos que ruptura e qual a maneira mais eficiente de preveni-los e recuperá-los? (CAVALCANTE et al., 2019; IVANOV, 2019, 2023a, 2023b; MOOSAVI; HOSSEINI, 2021).

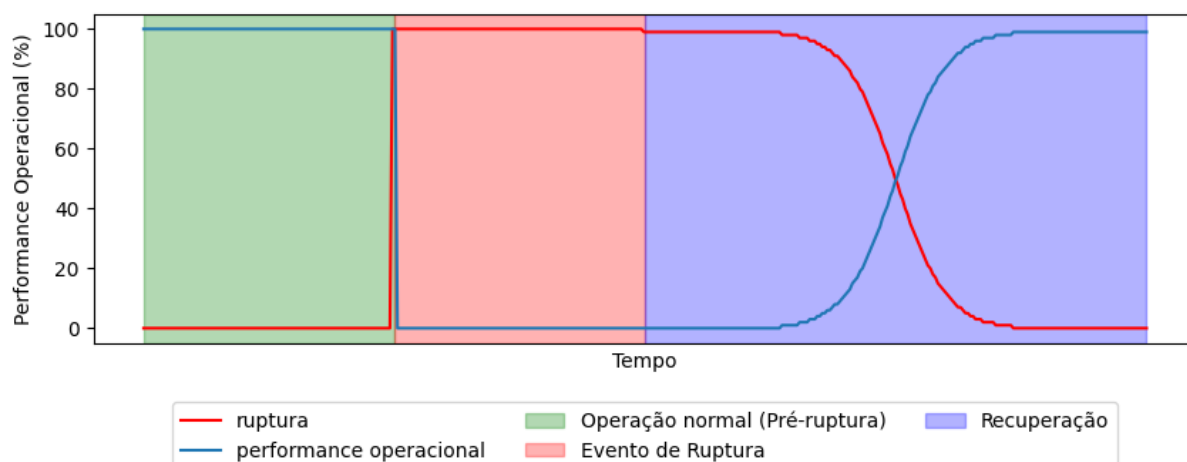
Segundo IVANOV (2017), um dos principais autores a utilizar modelagem e simulação como forma de colaborar com o tema, em seu trabalho sobre aplicação de simulação para o estudo do efeito chicote, o autor apresenta um referencial robusto de como classificar a pesquisa atual no campo, separando ela em três diferentes frentes: (a) Dinâmica estrutural, focada na estrutura das cadeias de suprimentos e como diferentes configurações entre seus nós e elos podem agir em conjunto para mitigar ou facilitar a propagação dessas disrupções; (b) Dinâmica dos parâmetros operacionais, focada em como diferentes parâmetros ajustados a cadeia de suprimento podem afetar os resultados e impactos dessas disrupções; e por último a (c) Dinâmica dos parâmetros de performance, que por sua vez foca em formas de medir e gerenciar os impactos seus impactos. O autor conclui que os métodos de simulação trazem uma vantagem significativa em relação aos métodos tradicionais de otimização matemática, eles permitem não

somente visualizarmos e rastreamos em detalhes cada processo interno a rede que participa do evento, como também testarmos diferentes parâmetros e configurações de rede a fim de identificar seu impacto no resultado da ruptura.

A maioria dos estudos sobre rupturas em cadeias de suprimento levam em consideração como flutuações em determinadas variáveis se propagam pela cadeia afetando a performance de diferentes elos dentro do sistema. Esse processo de propagação é conhecido na literatura como "efeito domino" ou "efeito bola de neve", no inglês é chamado de *ripple effect*. Seus efeitos são bem conhecidos com impactos de performance sentido em diversos indicadores operacionais como receita, nível de estoque, nível de serviço e não menos importante, custo. Neste contexto os eventos de ruptura são tratados como iniciadores do processo de propagação cuja dinâmica dependerá largamente da magnitude do evento, estrutura da rede e das estratégias de mitigação adotadas (DOLGUI; IVANOV; SOKOLOV, 2018; MISHRA et al., 2021).

A Figura 1 descreve a dinâmica de evolução temporal de um processo de ruptura generalizado, separado em três momentos distintos. A primeira etapa é chamada de pré-ruptura, imediatamente anterior a disrupções, e compreende as atividade e resultados da cadeia em sua situação 'normal', ou seja, seu estado de regime permanente planejado. A segunda etapa é ruptura em si, iniciada por qualquer tipo de evento catastrófico que de alguma forma torna indisponível permanentemente ou temporariamente algum de seus elos, impossibilitando que a cadeia performe como o esperado. A terceira e última etapa é marcada pela recuperação do sistema, onde as políticas e estratégias de resiliência começam a surtir efeito e o sistema gradativamente retorna a sua operação normal. A dinâmica, duração e intensidade dessas etapas dependem diretamente da intensidade do evento de ruptura, assim como a estrutura e configuração da rede em que ela se propaga. O que podemos observar na Figura 1 é que a ruptura é caracterizada por um evento catastrófico de impacto imediato nos indicadores operacionais, que é então seguida de um período de recuperação, em geral maior, já que as movimentação e realocação de recurso dentro da cadeia não podem ser feitas de forma imediata.

Figura 1 - Dinâmica operacional associada ao processo de ruptura.



Fonte: Autoria própria.

Apesar dos impactos operacionais diretos cessarem ao final do evento de ruptura as consequências negativas de um evento adverso continuam a se propagar pela rede através do efeito chicote, onde pequenas flutuações na demanda são amplificadas a jusante da cadeia gerando flutuações cada vez maiores nos níveis de produção e inventário (IVANOV, 2017; PRIORE et al., 2019). IVANOV e ROZHKOVA (2020) atribuem esse efeito ao acúmulo de ordens durante o evento de ruptura, o que é agravado por uma prática operacional de redundâncias postergadas, no inglês chamado de *posponed redundances*, que consiste em uma reação atrasada dos agentes da rede com o acúmulo de ordens redundantes. Os autores atribuem esse comportamento a falta de coordenação entre os elementos da cadeia, assim como a falta de uma estratégia coordenada para período de recuperação, o que é agravado em cadeias onde os ciclos de planejamento são maiores. Para os agentes isso se traduz em um elevado risco de sobreestoque e para a cadeia a perda de eficiência geral na alocação de seus recursos e consequentemente prolongamento e agravamento das consequências de uma ruptura. Na literatura esse prolongamento marcado pelo acúmulo de ordens e atrasos de entrega é chamado de calda de ruptura, ou no inglês de *disruption tail*.

A literatura sobre gerenciamento de desastres se estende além do campo de gerenciamento das cadeias de suprimento e engloba todos os esforços de estrategiar e coordenar ações com o objetivo de mitigar os efeitos adversos de evento catastrófico, seja ele de origem natural ou humana. De forma geral a aplicação desses esforços envolve algum tipo de custo que precisa ser balanceado contra o risco de perda em um potencial desastre, COX e COX (2020) discutem o desafio de balancear esforços de mitigação e adaptação frente as mudanças climáticas e enfatizam que um processo de gerenciamento de desastre efetivo frequentemente envolve o dispêndio prévio de uma quantidade significativa de recurso, que necessariamente

precisa ser justificado pela potencial redução nas perdas de longo prazo. HE e ZHUANG (2016) desenvolvem um modelo matemático para otimização da função de perda com o objetivo de auxiliar o processo de decisão quanto a alocação dos recursos disponíveis, os autores dividem os efeitos dessas ações em dois grupos distintos quanto a sua temporalidade: proativos pré-desastre e reativos pós-desastre. Os esforços proativos são balanceados contra o risco percebido, sua magnitude e probabilidade de ocorrência, já os esforços reativos são balanceados contra um dano conhecido que variam em função da magnitude do evento adverso, a preparação feita e a própria mitigação aplicada.

De forma similar para as cadeias de suprimentos os esforços proativos visam incrementar a robustez da cadeia a fim de reduzir as perdas no sistema frente a um acontecimento adverso com a disponibilidade de reservas de estoque e capacidade excedentes. Já os esforços reativos visam se aproveitar da flexibilidade da cadeia de suprimentos e sua capacidade de mudar rapidamente para se adaptar a um novo cenário logístico em muitos casos associado a criação de redundâncias na rede de fornecimento que podem ser acionadas na necessidade de uma contingência (DOLGUI; IVANOV; SOKOLOV, 2020; MUBARIK et al., 2021).

2.2.INFLUÊNCIA DE FATORES EXTERNOS

Um desafio importante ao selecionar o tempo e escala das medidas de contingência a serem aplicadas no momento de uma ruptura é que os parâmetros operacionais, principalmente a demanda, podem mudar em um período posterior a retomada da capacidade. IVANOV (2020) propõe o conceito de *Supply Chain Overlays*, que trata da intersecção entre os efeitos de uma ruptura e risco operacional de uma cadeia. O autor teoriza que esses overlays podem ser tanto recíprocos (complementares ou mitigadores) ou agravantes (concomitantes ou potencializadores) e testa suas hipóteses através de um experimento de simulação baseada em agentes com o uso do software anyLogistix.

O autor simula o mesmo processo de ruptura ocorrido sobre uma mesma cadeia testando diferentes cenários de demanda durante e após o período de ruptura a fim de avaliar suas consequências na dinâmica de recuperação. IVANOV (2020) se aproveita um modelo e conjunto de dados pré-existente na literatura, baseado na estrutura logística de uma empresa real de sucos passando por um processo de ruptura (IVANOV, 2019). Foram simulados dois conjuntos de cenários distintos pela duração de ruptura, um conjunto de 14 dias e outro de 90 dias e em cada conjunto foram simulados cenários de demanda alta, baixa e normal e para todos os cenários foram aplicadas medidas de mitigação como inventário de excedente, reserva de capacidade de outras plantas na região e subcontratação de capacidade extra. O que seus

resultados mostram é que a combinação de um período de alta demanda pré-ruptura seguido de baixa demanda pós-ruptura traz perda de performance maior do que períodos de baixa demanda seguidos por alta demanda pós-ruptura, ele também observa que a dinâmica da demanda no período pós-ruptura possui impacto maior na performance geral da cadeia do que a dinâmica da demanda durante o período de ruptura. Outra observação importante feita pelo autor diz respeito ao surgimento de uma calda de ruptura, que é agravada por uma dinâmica de redução da demanda após o processo de ruptura. Esse efeito é explicado pelas redundâncias posteriores, que acumulam estoque e geram variações no fluxo de ordens ao longo da cadeia.

Por fim IVANOV (2020) conclui que mudanças no perfil da demanda após o período de ruptura influenciam de forma perceptível o impacto causado por tal evento e que a queda da demanda no período pós ruptura pode ser considerado um overlay recíproco quando o oposto pode ser considerado um overlay agravante.

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi classificada como uma pesquisa explicativa de natureza quantitativa, utilizando pesquisa documental e de campo para a coleta de dados, com um enfoque aplicado. A pesquisa explicativa busca entender a relação causal entre a dinâmica da demanda e os impactos de eventos de ruptura na cadeia de suprimentos. A natureza quantitativa baseia-se em dados numéricos para realizar análises comparativa, enquanto a pesquisa documental e de campo utiliza dados e registros históricos da empresa, bem como a coleta de informações diretamente das operações da cadeia de suprimentos e de suas associações.

O objeto de estudo da pesquisa é a cadeia de suprimentos de latas de alumínio no Polo Industrial de Manaus, com a população composta por todos os registros de entrada e saída de alumínio da empresa focal, assim como dados de demanda do mercado de latas durante os períodos de ruptura selecionados.

A coleta de dados envolveu registros fiscais de transporte e logística da planta de Manaus, organizados em uma base de dados única e agrupado por mês para facilitar a análise. Os dados de demanda por sua vez, foram fornecidos pela Associação Brasileira de Latas de Alumínio (ABRALATAS).

Os dados foram tratados e analisados utilizando a biblioteca do Pandas em Python.

Para medir as imperfeições no planejamento de produção, foi calculada a diferença entre a massa de metal entrante e a massa de metal saída. Idealmente, a massa de metal entrante deve ser igual à massa de metal de saída; a diferença indica falhas no planejamento e na eficiência

do processo. Essa diferença é usada como uma medição do impacto no planejamento durante e após uma ruptura porque, em um cenário perfeito, toda a massa de metal entrante seria convertida em produto acabado, acúmulos ou faltas significativas e por períodos prolongados indicam falhas no atendimento a política de estoque vigente. As diferenças podem indicar problemas como ineficiências na produção, perdas de material, ou falhas na coordenação da cadeia de suprimentos, refletindo diretamente o impacto das rupturas da cadeia e na sua performance operacional.

A análise de dados envolve a comparação direta entre a soma da discrepância absoluta do descasamento entre a entrada e saída de metal com a Taxa Composta de Crescimento Mensal (TCCM) entre data da ruptura e os 6 meses posterior. O período de 6 meses foi escolhido arbitrariamente com base na cobertura dos dados disponíveis.

O período de início da ruptura da Covid-19 foi escolhido como Abr-24, essa escolha é justificada com base no pico do índice de restrição de circulação de pessoas causados pela COVID-19 na região de Manaus (BOLAÑO-ORTIZ et al., 2020). Para o período da seca o início é escolhido para Out-23, mês em que a altura do rio atingiu seu nível crítico e a circulação de navios de grande porte foram suspensas.

A principal hipótese testada foi que a alta demanda durante um período de ruptura agrava os impactos negativos na cadeia de suprimentos. As questões chave incluíram: (1) Existe uma correlação significativa entre a demanda e a diferença de massa durante os períodos de ruptura? e (2) A diferença de massa é maior durante períodos de alta demanda em comparação com períodos de baixa demanda?

Entre as vantagens da metodologia adotada estão a precisão dos dados, utilizando dados reais da empresa para uma análise precisa, e o foco prático, gerando conhecimentos aplicáveis diretamente na gestão da cadeia de suprimentos. No entanto, a escolha dos períodos de seis meses foi arbitrária e pode não captar todas as dinâmicas de longo prazo, e outros fatores além da demanda e das rupturas específicas podem influenciar as imperfeições no planejamento. Para contornar essas limitações, futuros estudos podem ajustar os períodos de análise para captar efeitos de longo prazo e identificar e controlar outras variáveis que possam influenciar os resultados, como mudanças na gestão ou no processo produtivo.

4. RESULTADOS

Os dados foram coletados e analisados utilizando a biblioteca do pandas em Python. O Gráfico 1 e 2 mostram a variação das massas, em quilogramas (kg), de entrada e saída de

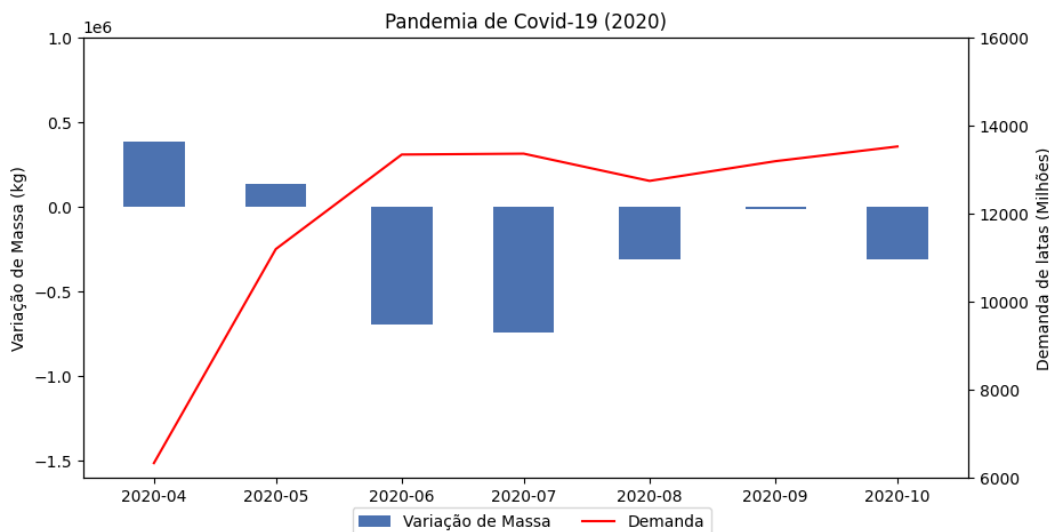
alumínio da fábrica de Manaus sobreposta a demanda do mercado, em milhões de latas, durante o mesmo período. Valores positivos de variação indicam que uma maior quantidade de metal entrou no estoque do que saiu indicando um desvio da política de estoque, o oposto é válido para valores negativos. A somatória desses desvios pode ser utilizada como uma maneira de quantificar o impacto de uma ruptura, já que as empresas geralmente buscam manter uma política estável de estoque e inventário.

O Gráfico 1 mostra que durante o período de ruptura da pandemia de Covid-19 houve um aumento significativo da demanda que saltou de 6,3bi de latas para 13,5bi de latas, com um TCAM de 13,4% no período, esse movimento é justificado por mudanças nos padrões de consumo da população, que migraram para um consumo doméstico, onde a lata é uma embalagem preferencial. No início da ruptura podemos observar uma variação positiva de massa, indicando que uma maior quantidade de metal adentrou a planta, isso ocorre devido a uma queda inesperada da demanda, já que as ordens de compra de metal precisam ser feitas com um mês de antecedência devido ao extenso tempo de trânsito entre a região de Manaus e o Vale do Parnaíba, em São Paulo, de onde a matéria prima é expedida. As demais variações seguem a mesma lógica e indicam dificuldade na previsão da demanda, o que acaba se propagando ao longo da cadeia no fenômeno que é conhecido como **efeito chicote**.

O Gráfico 2 mostra as mesmas informações para o período de ruptura causado pela seca do rio Amazona, em particular essa ruptura é marcada por uma queda acima do esperado do nível do rio, impossibilitando sua navegação por um longo período. Durante o mês de outubro, quando as navegações de navios de grande porte foram suspensas na região a saída de metal superou a entrada, indicando uma elevação da demanda no período, que se manteve em patamares similares durante os três meses subsequentes. Este cenário impôs uma necessidade imediata de aplicação de planos de contingência a fim de atender a demanda neste período, para o caso da planta de Manaus isso se refletiu na utilização extensiva do modal rodoviário. Diferente da pandemia de COVID-19 a demanda no período de recuperação contraiu, saindo de 15bi de latas em Outubro de 2023 para 12,6bi de latas em Abril de 2024, um TCAM de -2% gerando a necessidade de sucessivos ajustes nas previsões de compra.

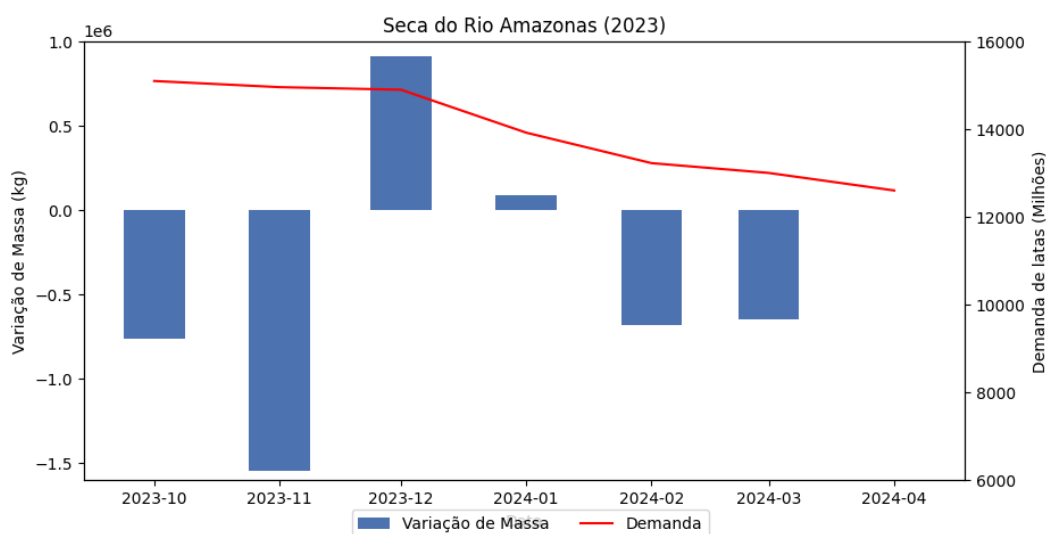
A área sobre o gráfico de barras pode ser usada para comparar os impactos dos dois eventos de ruptura. A Tabela 1 traz a somatória da variação absoluta de massa nos períodos analisado, juntamente a TCCM da demanda.

Gráfico 1 – Variação das massas de entrada e saída de metal e demanda de latas durante a Pandemia de Covid-19.



Fonte: Autoria própria (2024)

Gráfico 2 - Variação das massas de entrada e saída de metal e demanda de latas durante a seca do rio Amazonas.



Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 1 - Impacto de ruptura e demanda medidos nos períodos analisados.

	COVID – 19 (abr/20-out/20)	Seca do Amazonas (out/23-abr/24)
Soma Absoluta das Variações	2.594.631 kg	4.633.526 kg
TCCM (%)	13,49%	-2,97%

Fonte: Autoria própria (2024)

Os resultados mostram que variação absoluta de massa de metal no inventário da planta de Manaus foi 2.038.895 kg (75,5%) maior durante a seca do rio Amazonas do que durante a COVID-19 comparado sobre o mesmo período. Esse incremento é acompanhado também de uma inversão na dinâmica da demanda, um perfil de alta, com incremento médio mensal de 13,49% durante a ruptura da Covid-19 frente a um perfil de queda com média de redução média mensal de 2,97% durante a seca do rio Amazonas. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por IVANOV (2019), que através de simulações evidenciou que perfis de aumento de demanda favorecem o processo de recuperação.

5. CONCLUSÃO

Os resultados observados mostraram que a alta demanda durante a pandemia favoreceu a recuperação da cadeia de suprimentos, mitigando os impactos posteriores ao processo de ruptura, enquanto a queda de demanda durante a seca agravou os impactos negativos. A análise quantitativa revelou que a variação absoluta de massa de metal no inventário da planta de latas de Manaus foi 75,5% maior durante a seca, indicando que a demanda pós-ruptura tem um papel crucial na modulação dos impactos. Ambos os resultados são justificados pela dinâmica dos processos de recuperação, onde as iniciativas de contingência são muitas vezes focadas na garantia de abastecimento futuro, com surgimento de ordens redundantes durante o período de ruptura e quando a demanda não acompanha essas iniciativas há um acúmulo generalizado de estoque que precisa ser ajustado com maior intensidade e por um período maior, levando a um maior impacto na cadeia

Esses achados corroboram com a literatura existente e destacam a importância de estratégias de resiliência adaptativas que considerem a variabilidade da demanda. Tais estratégias são essenciais para mitigar os efeitos adversos de rupturas e garantir a continuidade operacional das cadeias de suprimentos. Em resumo, a pesquisa mostrou que a demanda elevada durante uma ruptura pode ajudar na recuperação da cadeia, enquanto uma queda de demanda pode exacerbar os problemas, enfatizando a necessidade de políticas de resiliência bem planejadas e ajustáveis às mudanças nas condições de demanda.

REFERÊNCIAS

BARYANNIS, G. et al. Supply Chain Risk Management and Artificial Intelligence: State of the Art and Future Research Directions. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 7, p. 2179–2202, 2019.

BOLAÑO-ORTIZ, T. R. et al. Spread of SARS-CoV-2 through Latin America and the Caribbean region: A look from its economic conditions, climate and air pollution indicators. **Environmental Research**, v. 191, 1 dez. 2020.

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.

CHOI, T. M. Facing market disruptions: values of elastic logistics in service supply chains. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 1, p. 286–300, 2021.

COX, P.; COX, S. Adaptation and Mitigation amid the Consequences of Failure. **American Journal of Economics and Sociology**, v. 79, n. 3, p. 651–693, 1 maio 2020.

DOLGUI, A.; IVANOV, D.; ROZHKOV, M. Does the ripple effect influence the bullwhip effect? An integrated analysis of structural and operational dynamics in the supply chain†. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 5, p. 1285–1301, 2020.

DOLGUI, A.; IVANOV, D.; SOKOLOV, B. Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1–2, p. 414–430, 17 jan. 2018.

DOLGUI, A.; IVANOV, D.; SOKOLOV, B. Reconfigurable supply chain: the X-network. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 13, p. 4138–4163, 2020.

FAN, Y.; STEVENSON, M. A review of supply chain risk management: definition, theory, and research agenda. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management** Emerald Group Holdings Ltd., , 22 mar. 2018.

HE, F.; ZHUANG, J. **Balancing pre-disaster preparedness and post-disaster relief**. [s.l.: s.n.]. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221716000023>>.

IVANOV, D. Simulation-based ripple effect modelling in the supply chain. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 7, p. 2083–2101, 2017.

IVANOV, D. Disruption tails and revival policies: A simulation analysis of supply chain design and production-ordering systems in the recovery and post-disruption periods. **Computers and Industrial Engineering**, v. 127, p. 558–570, 1 jan. 2019.

IVANOV, D. ‘A blessing in disguise’ or ‘as if it wasn’t hard enough already’: reciprocal and aggravate vulnerabilities in the supply chain. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 11, p. 3252–3262, 2 jun. 2020.

IVANOV, D. Collaborative emergency adaptation for ripple effect mitigation in intertwined supply networks. **Annals of Operations Research**, 2023a.

IVANOV, D. Intelligent digital twin (iDT) for supply chain stress-testing, resilience, and viability. **International Journal of Production Economics**, v. 263, 1 set. 2023b.

IVANOV, D.; ROZHKOV, M. Coordination of production and ordering policies under capacity disruption and product write-off risk: an analytical study with real-data based simulations of a fast moving consumer goods company. **Annals of Operations Research**, v. 291, n. 1–2, p. 387–407, 1 ago. 2020.

JÜTTNER, U. Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective. **The International Journal of Logistics Management**, v. 16, n. 1, p. 120–141, 1 jun. 2005.

KATSALIAKI, K.; GALETSI, P.; KUMAR, S. Supply chain disruptions and resilience: a major review and future research agenda. **Annals of Operations Research**, 2021.

MANUJ, I.; MENTZER, J. T. Global supply chain risk management strategies. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 38, n. 3, p. 192–223, 2008.
MARYNIAK, A. BUILDING RESILIENCE ATTRIBUTES OF SUPPLY CHAINS FROM THE PERSPECTIVE OF THEIR TYPES. **Management Systems in Production Engineering**, v. 30, n. 3, p. 253–261, 1 set. 2022.

MISHRA, D. et al. Evolution of supply chain ripple effect: a bibliometric and meta-analytic view of the constructs. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 1, p. 129–147, 2021.

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, 1 out. 2021.

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, 10 abr. 2021.

PRIORE, P. et al. Applying machine learning to the dynamic selection of replenishment policies in fast-changing supply chain environments. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 11, p. 3663–3677, 3 jun. 2019.

REMKO, VAN H. Research opportunities for a more resilient post-COVID-19 supply chain – closing the gap between research findings and industry practice. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 40, n. 4, p. 341–355, 19 jun. 2020.

SARKAR, A. K.; DAS, A. **A Systematic Review on Recently Developed Models for Supply Chain Financial Risk Evaluation**. 6th International Conference on Inventive Computation Technologies, ICICT 2023 - Proceedings. **Anais...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.**, 2023.