RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.
Ano V, v.1 2025. | submissão: 21/01/2025 | aceito: 23/01/2025 | publicação: 25/01/2025

Planejamento de Cenários para a Resiliência da Cadeia de Suprimentos dos EUA: Modelando os Impactos de Disrupções Geopolíticas e a Volatilidade dos Custos de Frete

Scenario Planning for the Resilience of U.S. Supply Chains: Modeling the Impacts of Geopolitical Disruptions and Freight Cost Volatility

Autor: Ivan de Matos

Formado em Logística, pelo Centro Universitário Leonardo Da Vinci

Pós-graduado em Administração de Pessoas, pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci

Resumo

Este artigo examina o uso do **planejamento de cenários** como instrumento de decisão para fortalecer a **resiliência** das cadeias de suprimentos dos Estados Unidos diante de **disrupções geopolíticas** (sanções, conflitos, embargos, choques regulatórios) e da **volatilidade dos custos de frete** (marítimo, ferroviário, rodoviário e aéreo). Integram-se a literatura de **operações e risco** com práticas de **inteligência estratégica**, propondo-se um método que liga **narrativas plausíveis** a **modelos quantitativos** (simulação de eventos discretos, dinâmica de sistemas e Monte Carlo), produzindo métricas de **TTS/TTR**, **OTIF**, **Operational VaR** e **perda evitada** sob diferentes trajetórias. Argumenta-se que a utilidade dos cenários aumenta quando conectada a **sinais precursores** (signposts) e **gatilhos de decisão** que acionam **opcionalidades contratuais**, **buffers estruturais** e **reroteamento multi-gateway**. Evidências de relatórios setoriais e marcos de política pública - como o **National Freight Strategic Plan** (USDOT) — sugerem que a combinação de **arquitetura modular**, **dados interorganizacionais** e **contratos com opções** reduz a área do **triângulo da resiliência** e protege margem em choques (SHEFFI, 2015; CHOPRA; MEINDL, 2016; USDOT, 2020; UNCTAD, 2020; SEA-INTELLIGENCE, 2021).

Palavras-chave: planejamento de cenários; resiliência; custos de frete; geopolítica; TTS/TTR; Estados Unidos.

Abstract

This paper examines **scenario planning** as a decision tool to strengthen the **resilience** of U.S. supply chains against **geopolitical disruptions** (sanctions, conflicts, embargoes, regulatory shocks) and **freight cost volatility (**ocean, rail, truck, air). We integrate **operations and risk** literature with **strategic foresight** practices, proposing a method that links **plausible narratives** to **quantitative models** (discrete-event simulation, system dynamics and Monte Carlo), yielding **TTS/TTR**, **OTIF**, **Operational VaR** and **loss avoided** under alternative paths. We argue scenarios are more useful when coupled with **signposts** and **decision triggers** that activate **contractual options**, **structural buffers**and **multi-gateway rerouting**. Evidence from industry

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

reports and policy frameworks—such as the **National Freight Strategic Plan**—suggests that combining **modular architectures**, **inter-organizational data**, and **option-based contracts** reduces the **resilience triangle** area and protects margins under shocks (SHEFFI, 2015; CHOPRA; MEINDL, 2016; USDOT, 2020; UNCTAD, 2020; SEA-INTELLIGENCE, 2021).

Keywords: scenario planning; resilience; freight costs; geopolitics; TTS/TTR; United States.

1. Fundamentos e escopo: por que cenários para cadeias dos EUA sob geopolítica e frete volátil

O **planejamento de cenários** nasceu para lidar com **incerteza profunda** — aquela em que extrapolações estatísticas perdem validade — e migrou do setor de energia para operações e risco por sua capacidade de **explorar futuros múltiplos** sem pretensão de previsão pontual (WACK, 1985; SCHOEMAKER, 1995). Nas cadeias de suprimentos dos EUA, a turbulência do período 2018–2021 evidenciou como **choques de política comercial**, **sanções cruzadas** e **restrições logísticas** podem alterar, em semanas, **custos totais** e **tempos porta-a-porta**, superando folgas planejadas e desorganizando **S&OP/S&OE** (SHEFFI, 2015; CHOPRA; MEINDL, 2016). Diferentemente de planos de contingência lineares, cenários **exploram combinatórias** de forças (geopolítica × frete × energia × clima) e **efeitos de encadeamento** (portos-ferrovias-rodovias), oferecendo um quadro para **decidir antes** da crise o que ativar **durante** a crise.

O primeiro fundamento conceitual é distinguir **risco mensurável** de **incerteza não probabilizável**. Custos de frete possuem distribuições que podem ser parametrizadas com base em índices (spot e contratos, *bunker* e diesel), mas **rupturas geopolíticas** têm dinâmicas discretas (sanção, embargo, conflito, fechamento de canal) que mudam **regimes**de forma descontínua (UNCTAD, 2020; EIA, 2021). Cenários permitem **representar regimes** e **transições**, em vez de insistir em médias históricas que mascaram **caudas grossas** observadas em 2020–2021 (SEA-INTELLIGENCE, 2021). Em linguagem de resiliência, pensamos em **estados** (normal, degradado, crítico) e **tempos de transição** (TTR) condicionados a políticas de mitigação.

O segundo fundamento é o **acoplamento marítimo-terrestre** na malha norte-americana. Núcleos portuários como **LA/Long Beach**, **NY/NJ**, **Savannah**, **Houston** e entradas do **Golfo** alimentam corredores ferroviários (BNSF, UP, CSX, NS) e **interestaduais** que, por sua vez, modulam **custo total** e **tempo de entrega** até *fulfillment centers* e fábricas. **Cenários geopolíticos** que alteram **origens asiáticas** (reconfiguração China+1, Taiwan-Strait risk) ou **rotas oceânicas** (Suez/Panamá) **propagam-se** para janelas de atracação, **schedule reliability** e **turn times** de caminhões, exigindo um tratamento **de rede**, não de elo isolado (USDOT, 2020; NOTTEBOOM; RODRIGUE, 2021). A lógica de cenários, portanto, precisa **atravessar interfaces**.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

O terceiro fundamento é a **economia das opções**. Em ambientes de frete volátil, **opcionalidades contratuais** (reservas de capacidade, multi-gateway, *box pools*, *take-or-pay* flexível) funcionam como **seguros operacionais** que transferem parte do risco de *spikes* para mecanismos ex-ante (CHRISTOPHER, 2016; SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2008). Cenários ajudam a **precificar** essas opções por **perda evitada** e **redução de TTR**, permitindo ao conselho comparar alternativas não apenas por **custo médio por unidade**, mas por **downside protegido** em choques — uma métrica mais fiel ao objetivo de **resiliência financeira**.

O quarto fundamento é **governança de dados e sinais precursores**. Cenários não devem ficar em *slides*; precisam de **signposts** operacionais e macro (ex.: **queda persistente de *schedule reliability*** em serviços transpacíficos, **variações anormais** em AIS/tempo de ancoragem, **movimento em sanções** e **energia** via EIA) que **ativem gatilhos** preacordados — abrir **janelas estendidas**, **desviar gateway**, **exercer opção de capacidade**, **acionar pools de contêineres** (IAPH, 2020; SEA-INTELLIGENCE, 2021). Essa ligação entre **narrativa-sinal-gatilho** é o que converte cenários em **capacidade de reação**.

O quinto fundamento é o **alinhamento regulatório e setorial**. Nos EUA, marcos como o **National Freight Strategic Plan** e guias de **continuidade** (ISO 22301) reforçam a necessidade de **cooperação intermodal**, **padronização de dados** e **investimentos modulados** por criticidade (USDOT, 2020; ISO 22301, 2019). Em termos de cenário, isso significa considerar **limitações regulatórias** (horas de serviço, *permits* de peso/altura, *driver shortage*), pois **opções teóricas** podem ser inexequíveis sob certas regras; logo, a **viabilidade** de cada resposta precisa ser testada contra **constrangimentos normativos**.

O sexto fundamento é **geográfico e energético**. **Desvios oceânicos** e **rotas aéreas** em crises alteram consumo de combustível e **curvas de custo** (bunker/diesel/jet-A), com transmissão quase imediata para tarifas **truckload**, **intermodal** e **air cargo** (EIA, 2021; UNCTAD, 2020). Cenários plausíveis devem **co-simular** preços de energia e **capacidade modal**, porque *spikes* simultâneos em bunker e diesel podem derrubar a atratividade de certas rotas, empurrando carga para **ferrovia** ou **aéreo** e exigindo **replanejamento de mix**.

O sétimo fundamento é **organizacional**: cenários só produzem valor quando **ligados ao S&OP/S&OE** e ao **ciclo orçamentário**, com **metas TTS/TTR**, **limites de perda** e **portfólios de mitigação** já aprovados para acionamento. Isso evita **latência decisória** e disputas de jurisdição em meio a choques (SHEFFI, 2015; CHRISTOPHER, 2016). Em outras palavras, cenários são **pré-acordos operacionais** informados por análise, não exercícios de imaginação.

Por fim, o oitavo fundamento é **métrico**: a utilidade de um cenário mede-se pela sua capacidade de reduzir a **área do triângulo da resiliência** (queda × duração) e de preservar **margem** e **nível de serviço** sob trajetórias adversas. Isso requer traduzir narrativas em **TTS/TTR**, **OTIF**, **backlog clearing**, **demurrage/detention**, **frete prêmio** e **Operational VaR**, permitindo **comparar carteiras** de mitigação por **impacto/custo** (PONOMAROV; HOLCOMB, 2009; SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2008; SEA-INTELLIGENCE, 2021).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

2. Método de construção e modelagem: do *axes-of-uncertainty* aos gêmeos digitais e *stress-tests*

O método proposto inicia pelo **marco de incertezas críticas** (*axes-of-uncertainty*), mapeando duas a três dimensões que mais explicam variação de **custo total** e **tempo porta-a-porta** em cadeias dos EUA: **(i)** *status* geopolítico (cooperação ↔ confronto); **(ii)** regime de **frete e energia** (estável ↔ volátil com caudas); **(iii) capacidade portuária/intermodal** (desobstruída ↔ congestionada). A combinação desses eixos gera um **portfólio de cenários extremos e intermediários** (WACK, 1985; SCHOEMAKER, 1995). Para cada quadrante, definem-se **storylines** com coerência causal: por exemplo, "Confronto + Volatilidade + Congestionamento" incorpora **sanções** que deslocam fluxos asiáticos, **spikes** de bunker/diesel, **queda de *schedule reliability*** e **filas** em gateways do Pacífico; o oposto descreve distensão, combustíveis estáveis e **equilíbrio demanda-capacidade**.

A segunda etapa traduz **storylines** em **drivers quantificáveis**. Para geopolítica: **tarifas** e **sanções** em classes de produto, **restrições de exportação**, **fechamentos parciais** de canais e **regras de segurança**; para frete/energia: **curvas de bunker/diesel/jet-A** e elasticidades tarifárias por modo (UNCTAD, 2020; EIA, 2021); para capacidade: **schedule reliability** por serviço, **fila/tempo de ancoragem**, **productividade de cais** e **truck/rail turn times** (SEA-INTELLIGENCE, 2021; WORLD BANK, 2020). Esses drivers alimentam **modelos acoplados** que representarão a **propagação** (marítimo → porto → hinterland) e a **resposta** (buffers, desvio, opções).

A terceira etapa seleciona **ferramentas de modelagem**. **Simulação de eventos discretos (DES)** representa filas interconectadas em cais, pátio, gate e ferrovia; **dinâmica de sistemas (SD)** captura estoques/fluxos e **feedbacks** (efeito chicote, backlog acumulado); **modelos baseados em agentes (ABM)** inserem **comportamentos adaptativos** (rolagem, priorização por SLA, escolha de rotas por motoristas/operadores) (IVANOV; DOLGUI, 2020; CHOPRA; MEINDL, 2016). **Monte Carlo** adiciona **variabilidade** aos drivers (preço, confiabilidade, chegada), produzindo **faixas probabilísticas** de TTR e custo. Na prática, um **gêmeo digital** do corredor transpacífico ou transatlântico integra DES+SD+ABM com dados **AIS/TOS/PCS**.

A quarta etapa define **métricas de saída** que importam para o decisor: **TTS/TTR** por nó/corredor, **OTIF** marítimo-terrestre, **backlog clearing time**, **demurrage/detention**, **frete prêmio** e **margem preservada**. Adicionalmente, calcula-se **Operational VaR** (perda esperada na cauda) e **Expected Shortfall** sob cada cenário, permitindo **comparar carteiras** de mitigação por **perda evitada por dólar** (PONOMAROV; HOLCOMB, 2009; SHEFFI, 2015). A **área do triângulo da resiliência** sintetiza a eficácia temporal de cada política, enquanto **curvas de resposta** mostram como TTR cai com **janelas estendidas**, **off-dock**, **multi-gateway** ou **opções de capacidade**.

A quinta etapa incorpora **opções e gatilhos**. Cada cenário recebe **regras de ativação**: "Se *schedule reliability* < X% por Y semanas, **exercer opção** em serviço alternativo; se **fila > Z horas** em gateway A, **desviar** X% para gateway B; se **diesel** e **bunker** excedem bandas, **migrar** parte do

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

volume para **ferrovia**". Essas **políticas contingentes** são simuladas para medir **TTR** e **custo total** sob diferentes **sequências** de choques, reconhecendo que **timing** de ativação é tão relevante quanto a escolha da medida (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2008; CHRISTOPHER, 2016).

A sexta etapa define **signposts** — **indicadores antecedente-consequentes** que monitoram a proximidade de um cenário — e **limiares de confiança** para acionamento. Exemplos: **queda persistente** de confiabilidade no transpacífico (GLP/Sea-Intelligence), **aumento anormal** de **tempo de ancoragem** (AIS), **variações** em **tarifas e sanções** (diário oficial), **spikes** simultâneos em **bunker/diesel** (EIA) e **sinais de *driver shortage*** (vagas, *spot rates* rodoviários). Esses sinais alimentam **torres de controle** e **S&OP/S&OE**, reduzindo **latência decisória** (IAPH, 2020; USDOT, 2020).

A sétima etapa é **validação e *stress-testing***. O gêmeo digital precisa ser **calibrado** com séries históricas (2018–2021) e **validado cruzadamente** (ex.: reproduzir queda de confiabilidade de 2021 e tempos de fila observados em gateways). Em seguida, aplicam-se **cenários extremos** ("black swans plausíveis") para avaliar **faixas de TTR** e **gargalos dominantes** (WORLD BANK, 2020; NOTTEBOOM; RODRIGUE, 2021). A validação evita **ótimos de laboratório** e dá **credibilidade** ao uso do modelo em decisões de capital e contratos.

A oitava etapa integra **governança**: os cenários saem do time de risco e entram no **ciclo orçamentário** com **metas TTR/OTIF**, **limites de VaR**, **carteiras de mitigação** e **responsáveis**; **playbooks** são versionados; **AARs** pós-evento alimentam *lessons learned*; e **KPIs** entram nos **bônus executivos** (ISO 22301, 2019; SHEFFI, 2015). O resultado é um processo **repetível**, em que cenários informam **onde integrar** (controle) e **onde modularizar** (opções), com **dados e contratos** como *rails* para a execução.

3. Estruturas de custos de frete e transmissão para o *Total Landed Cost*(TLC)

O ponto de partida para modelar o impacto de choques geopolíticos e de volatilidade é decompor o **custo de frete** em seus componentes e entender como cada parcela se propaga até o **Total Landed Cost (TLC)**. No **oceânico**, além do **base rate**, incidem **BAF** (bunker adjustment factor), **CAF** (currency), **GRI/PSS** (general rate increase/peak season), **low sulfur/IMO 2020** e sobretaxas de **congestionamento** e **equipment imbalance**; no **terrestre**, entram **drayage/chassis**, **linehaul ferroviário/intermodal**, **port/terminal handling charges** e **last mile**; transversalmente, **demurrage/detention**, **armazenagem**, **seguro**, **tarifas** e **capitais de giro** (UNCTAD, 2020; World Bank, 2020). Em cenários de estresse, pequenas variações de **bunker/diesel** (EIA, 2021) e **confiabilidade de cronogramas** (Sea-Intelligence, 2021) produzem **efeitos multiplicativos** sobre o TLC, pois ampliam tempos de ciclo, exigem buffers e deslocam carga para modais/práticas mais caras (Chopra; Meindl, 2016).

O segundo passo é mapear **mecanismos de transmissão** do frete ao **custo total de servir**. Quando **lead times** e **dispersão** aumentam, cresce o **estoque de segurança** e o **capital empatado**, subindo

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

carrying cost; quando **OTIF** cai, surgem **expedições aéreas** e **redespachos** que encarecem a operação; quando **janelas de recebimento** são perdidas, surgem **multas contratuais** e **perdas de venda** (*lost sales*). A **área do triângulo da resiliência** (queda × duração) transforma essa degradação em **perda econômica** mensurável, permitindo ligar **centavos por TEU-milha** a **pontos de margem** no P&L (Sheffi, 2015; Ponomarov; Holcomb, 2009). Assim, o planejamento de cenários precisa **co-simular**preço do frete, confiabilidade e decisões táticas (buffers, desvio, opção de capacidade) para capturar o **efeito total**.

No **oceânico**, choques de **bunker** alteram **BAF** quase em tempo real, mas seu impacto líquido depende do **mix de equipamentos**, **rotas** e **pendularidade** dos fluxos: trades com **desbalanceamento** sofrem sobretaxas adicionais de **reposicionamento**; trades com **múltiplos transbordos** ficam mais sensíveis a **congestionamento** e **GRI** prolongados (UNCTAD, 2020; Notteboom; Rodrigue, 2021). Em cenários de **sanções/export controls**, **"caminhos proibidos"**criam rotas mais longas, mudam **intensidade energética** da cadeia e deslocam o equilíbrio de **slot allocation** entre alianças, afetando **prioridade** e **rolagem**. Esses efeitos exigem **curvas de resposta** por serviço para estimar **quanto TLC aumenta** por cada **ponto de confiabilidade** perdido.

No **intermodal norte-americano**, **drayage/chassis constraints** e **linehaul ferroviário** funcionam como **amplificadores** do TLC. A falta de **chassis** eleva **wait time** e **detention**; **escassez de motoristas** e **regras de horas de serviço** pressionam **spot rates**; **slots ferroviários** limitados aumentam **transit time** e **variância** (USDOT, 2020; OECD/ITF, 2016). Em cenários de pico, **transloads** de 40' para 53' e **transfers** entre rampas adicionam handling e risco de danos; porém, quando bem sincronizados, reduzem o **custo por milha útil** em longas distâncias. Modelos devem capturar esse **trade-off** e testar **gatilhos** para alternar entre **all-water East Coast** e **land-bridge West Coast**conforme **TTR** e **custo incremental**.

Um vetor crítico de transmissão é **demurrage/detention**. Em congestionamento sistêmico, políticas lineares de cobrança geram **injustiça** e incentivam **hoarding** de caixas, ampliando **subutilização** e **fretes prêmio**; políticas **condicionais** com **isenção quando a causa raiz é terminal/hinterland** reduzem **custo morto** e liberam **equipamento**(World Bank, 2020; IAPH, 2020). Nos cenários, é preciso parametrizar **regras alternativas** e medir quanto **TTR** e **TLC** mudam quando a governança migra de **punição uniforme** para **incentivos pró-fluidez** (Drewry, 2021). Ao simular, observa-se que alguns dólares a menos em detention produzem **centenas de dólares** em **perda evitada** por contêiner.

A **energia** conecta geopolítica e frete ao TLC. **Bunker** e **diesel** têm **correlações** em choques globais, e **spikes**simultâneos elevam **BAF** e **linehaul rodoviário**, alterando a **fronteira de custo** entre modal rodoviário e **rail/intermodal**; **jet-A** define o preço do **air cargo** para expedições de contingência (EIA, 2021; UNCTAD, 2020). Cenários devem incluir **bandas de preço** com **elasticidades tarifárias** por modo e **regras de *modal shift***, para que a simulação capture quando

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

é mais barato **voar** parte do mix de SKUs críticos do que **perder janela de venda**, e quando é melhor **estocar** por alguns dias do que pagar **frete prêmio**.

Outro canal de transmissão é **compliance e tarifa**. **Sanções e tarifas** reconfiguram **BOMs** e **origens**; **export controls**em insumos de alta tecnologia criam **rotas indiretas** ou impõem **substituição de fornecedores** com **lead time** e **preço**diferentes, adicionando custo e **risco de qualidade** (UNCTAD, 2020; Notteboom; Rodrigue, 2021). O TLC precisa refletir **custos administrativos** (licenças, auditorias, classificação tarifária), **overheads** de **auditoria de origem** (regras USMCA) e **perdas de escala** quando a carteira se fragmenta para perseguir **resiliência regulatória**. Na prática, **opções reais** (slots, gateways, fornecedores) mitigam parte desse custo quando **gatilhos** ativam **planos de substituição**previamente qualificados (Simchi-Levi; Kaminsky; Simchi-Levi, 2008).

Em termos **organizacionais**, o TLC só entra no decisório quando **métricas** e **processos** convertem **centavos logísticos**em **pontos de margem** e **prioridade S&OP/S&OE**. **Torres de controle** precisam apresentar **TLC incremental por cenário** e **perda evitada** por medida (janelas estendidas, off-dock, *multi-gateway*, opção de capacidade), com **limiares**que disparem ações sem debate ad hoc (IAPH, 2020; ISO 22301, 2019). O **business case** deixa de ser "frete caro" e passa a ser "**margem preservada** e **TTR reduzido**", linguagem que permite **aprovar capex/opex** de resiliência com rigor (Sheffi, 2015).

Por fim, a modelagem do TLC deve incorporar **heterogeneidade de SKU/cliente**: itens **time-sensitive** têm **valor de tempo** alto e justificam **frete prêmio** ou **air**; itens **commoditizados** toleram **estoques estratégicos** e **lead time** maior. **Curvas ABC por valor e criticidade**, acopladas a **políticas de serviço diferenciadas**, impedem soluções uniformes que **queimam caixa** sem elevar resiliência. Em síntese, o TLC nos cenários funciona como **painel unificado** onde frete, confiabilidade e decisões táticas se encontram para orientar **portfólios eficientes** de mitigação (Chopra; Meindl, 2016; Sea-Intelligence, 2021).

4. Matrizes geopolíticas de risco e desenho de rotas alternativas (gateways, *all-water*, land-bridge e *nearshoring*)

A construção de **matrizes geopolíticas de risco** começa por **categorizar choques** que afetam cadeias dos EUA: **(i)**disputas e sanções entre grandes economias (EUA–China; Rússia; Irã), **(ii) estrangulamentos** em **chokepoints** (Suez, Panamá, Estreito de Malaca, Taiwan Strait, Bab el-Mandeb), **(iii) eventos climáticos** e **laborais** que afetam gateways (furacões no Golfo, greves litorâneas), **(iv) ciberincidentes** e **compliance** (export controls), e **(v) variação energética**que reprecifica modais (UNCTAD, 2020; USDOT, 2020). Para cada classe, avaliam-se **probabilidade, impacto, detectabilidade** e **tempo de aviso** (*warning time*), definindo **signposts** e **gatilhos** de ativação de rotas alternativas (Sea-Intelligence, 2021; ISO 22301, 2019). O objetivo não é prever o evento, mas **pré-acordar respostas** viáveis.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

No **transpacífico**, as alternativas oscilam entre **West Coast land-bridge** (LA/LB, Oakland, Tacoma/Seattle) e **all-water East/Gulf** (NY/NJ, Savannah, Charleston, Houston). Choques em **LA/LB** por **congestionamento/labor** podem disparar **diversão all-water** para o Leste, ao custo de **maior trânsito oceânico** e **menor variância terrestre**; choques em **Panamá** ou **ciclones atlânticos** podem reequilibrar em favor da **costa oeste** com **rail linehaul** profundo (USDOT, 2020; Notteboom; Rodrigue, 2021). A escolha ótima depende de **TTR** relativo, **frete total** e **capacidade ferroviária**; por isso, as matrizes devem **co-simular** portos, canais e **rail slots** para determinar **participações-alvo** por gateway sob diferentes regimes.

No **transatlântico** e **Américas**, gateways do **Leste/Golfo** (NY/NJ, Norfolk, Savannah, Houston) e **Golfo/México**formam a espinha dorsal. **Furacões** e **cheias** impõem **janelas de risco** sazonais; **políticas de segurança** no Golfo podem reduzir **throughput**; **congestionamentos** em NY/NJ redistribuem escalas para o **Sudeste**. Em paralelo, **nearshoring** para **México** e **América Central** adiciona **opcionalidade terrestre** (truck/rail sob USMCA) e reduz exposição a **chokepoints oceânicos**, à custa de **riscos institucionais** e **capacidade transfronteiriça** (OECD/ITF, 2016; USDOT, 2020). As matrizes devem quantificar quando **transferir SKUs** para **nearshore** preserva **margem** e **nível de serviço**.

No eixo **chokepoints globais**, **Suez** e **Panamá** são variáveis dominantes. O **fechamento parcial de Suez** induz **circunavegação** com ganho de **dias** e custo de **bunker**, afetando **rotas Ásia–Leste EUA** via **Med/Atlântico**; restrições em **Panamá** deslocam serviços para **LA/LB** ou **all-water via Suez/Cabo**, elevando **variância** (Notteboom; Rodrigue, 2021; UNCTAD, 2020). **Signposts** como **nível de lago** no Panamá, **tráfego AIS** e **fila de ancoragem** entram como **gatilhos de desvio**. Em cenários críticos, **trans-ship** via **Canadá** (Prince Rupert/Vancouver) com **rail** para o Midwest surge como **bypass** com TTR competitivo.

A **matriz China+1** considera **relocalização parcial** de produção para **Vietnã, Índia, Indonésia, México** e **EUA**. Essa realocação muda **tempos oceânicos**, **perfil tarifário**, **risco regulatório** e **capacidade modal**; por exemplo, **Índia-Leste EUA all-water** via **Suez** é sensível a choques nesse canal, mas reduz exposição a **LA/LB**; **México–EUA** reduz **custo de capital** por **lead time curto**, mas requer **infraestrutura de fronteira** e **segurança** (USDOT, 2020; UNCTAD, 2020). A matriz quantifica **TLC** e **TTR** por SKU sob **mix de origem** e orienta **cronogramas** de transição com **ramp-ups** e **estoques ponte**.

Risco laboral e climático pedem mapas sazonais e **janelas de mitigação**. **Greves** litorâneas têm **sinais** (impasses de negociação) que permitem **pré-posicionar estoques** ou **adiantar bookings**; **temporadas de furacão** no Golfo e Atlântico acionam **gate hours estendidos**, **off-dock** e **prioridade** para cargas **time-sensitive** (USDOT, 2020; ISO 22301, 2019). **Gêmeos digitais** com camadas **meteorológicas** e **calendários sindicais** permitem **stress-tests** com **playbooks** estruturados, reduzindo **latência** e **perda**.

Ciber e compliance compõem a camada transversal. Ataques a **TOS/PCS** e **pipelines** logísticos podem interromper serviços sem dano físico; **export controls** reconfiguram **BOMs** e **rotas** de um

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

dia para o outro (IAPH, 2020; UNCTAD, 2020). As matrizes incluem **hardening** cibernético (redundância, backups desconectados) e **rotas "limpas"** de compliance para SKUs críticos, com **documentação pronta**. **Gatilhos**: alertas de vulnerabilidade, mudanças regulatórias, incidentes setoriais.

Por fim, o **desenho de rotas alternativas** é **portfólio** e não **bala de prata**. As matrizes geopolíticas prescrevem **participações alvo** por gateway e **opções de desvio** com **limiares claros** (queda de **schedule reliability**, **fila**, **bunker/diesel**), combinando **opcionalidades contratuais** (slots, *box pools*), **buffers estruturais** (off-dock/portos secos) e **dados** (PCS/torres de controle) para **reduzir TTR** e **proteger margem** (Simchi-Levi; Kaminsky; Simchi-Levi, 2008; Sea-Intelligence, 2021; USDOT, 2020). O êxito mede-se em **área do triângulo da resiliência** menor, **OTIF**sustentado e **TLC estabilizado** em cenários adversos.

5. Carteiras de mitigação e *opções reais*: fronteiras eficientes entre buffers, multi-gateway e contratos com elasticidade

A formulação de uma **carteira de mitigação** parte do princípio de que nenhuma intervenção isolada domina em todos os cenários; o objetivo é compor um **portfólio eficiente** que minimize a **área do triângulo da resiliência** (queda × duração) ao menor custo de capital possível. Na prática, combina-se **buffers físicos** (estoques ponte, capacidade ociosa deliberada), **buffers estruturais** (multi-gateway, portos secos/off-dock, redundância modal), **buffers informacionais**(PCS, torres de controle, previsões de chegada), e **opções contratuais** (reservas de capacidade, *box pools*, cláusulas de desvio) que possam ser **ativadas por gatilhos** previamente pactuados (SHEFFI, 2015; CHOPRA; MEINDL, 2016). A carteira ótima difere por SKU e corredor, pois **valor do tempo**, **substituibilidade** e **criticidade** variam substancialmente entre famílias de produto e regiões (PONOMAROV; HOLCOMB, 2009).

A lente de **opções reais** ajuda a precificar decisões em contexto de **volatilidade de frete** e **choques geopolíticos**: pagar um **prêmio** hoje por uma **opção de slot** ou por um **contrato multi-gateway** é análogo a adquirir o direito, e não a obrigação, de exercer capacidade quando **signposts** sinalizarem degradação de confiabilidade ou *spikes* de custo (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2008; CHRISTOPHER, 2016). O valor esperado dessa opção cresce com a **volatilidade subjacente** (bunker/diesel, *schedule reliability*) e com o **custo de ruptura**, de modo que SKUs de alta criticidade justificam prêmios maiores. Essa abordagem disciplina a conversa com finanças, pois traduz "redução de TTR" em **perda evitada** por dólar investido, comparável ao CAPEX de armazéns, pátios e automação (SHEFFI, 2015).

Buffers físicos têm mérito onde **lead time** é longo, substituição é baixa e a **incerteza de chegada** domina; contudo, imobilizam **capital de giro** e sofrem **risco de obsolescência**, pedindo governança rigorosa via **curvas ABC** e políticas de **revisão contínua** (CHOPRA; MEINDL, 2016). Em contrapartida, **buffers estruturais** — como **multi-gateway** e **off-dock** — preservam **opcionalidade operacional** com menor custo de carregamento, desde que **padrões**

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

técnicos(embalagem, etiquetagem, EDI/API) tornem a substituição **plug-and-play** (OECD/ITF, 2016; WORLD BANK, 2020). O *trade-off* entre "estoque" e "estrutura" é, pois, contingente ao perfil de risco e à **elasticidade de transporte**disponível em cada corredor (NOTTEBOOM; RODRIGUE, 2021).

Em **ambientes portuários e intermodais** sujeitos a **congestionamento**, a carteira deve incluir **táticas de curta duração** (janelas estendidas, re-slotting de pátio, priorização por SLA/valor de tempo) que reduzam **backlog**rapidamente, e **intervenções de médio prazo** (portos secos, contratos ferroviários sazonais, *box pools* regionais) que diminuam **variância** sem elevar demais o custo fixo (WORLD BANK, 2020; IAPH, 2020). Para o **longo prazo**, capacidades **modulares** (berços em fases, automação seletiva, corredores ferroviários escaláveis) evitam **rigidez** e permitem crescimento por blocos, mantendo **TTR** sob controle em choques repetidos (IVANOV; DOLGUI, 2020). A eficiência nasce da **complementaridade** entre horizontes temporais.

A dimensão **contratual** da carteira organiza **quem paga o quê, quando e por quê**. **SLAs de contingência** com **gatilhos objetivos** (queda de *schedule reliability*, filas de ancoragem, *truck turn time*, *rail slot* utilizado/planejado) ativam **reservas de capacidade**, **desvios multi-gateway** e **isenções condicionais de demurrage/detention**, reduzindo litígios e **latência decisória** (SEA-INTELLIGENCE, 2021; IAPH, 2020). Em cenários severos, **indexação à confiabilidade** e **mecanismos de *gain-sharing*** alinham incentivos para recuperar serviço mais rápido, pois parte do **bônus/penalidade** é convertida em **ações operacionais** (janelas extras, trens adicionais) que comprimem o **triângulo da resiliência** (WORLD BANK, 2020; CHRISTOPHER, 2016).

Gêmeos digitais do corredor — acoplando **DES/SD/ABM** com dados **AIS/TOS/PCS** — servem para **fronteiras eficientes** da carteira: para cada combinação de **buffers físicos/estruturais** e **opções contratuais**, estimam-se **TTS/TTR**, **OTIF**, **demurrage/detention** e **TLC** sob trajetórias de estresse (IVANOV; DOLGUI, 2020). Ao traçar **curvas impacto/custo**, o decisor identifica "pontos de alavanca" (ex.: +1 trem/dia cai TTR em 22%; +1 janela noturna cai *truck turn time* em 18%; +X% de *box pool* reduz *frete prêmio* em Y), substituindo opiniões por **evidência simulada**(SHEFFI, 2015). Essa disciplina facilita aprovar **CAPEX/OPEX** e priorizar **quick wins**.

A carteira precisa, ainda, refletir **heterogeneidade espacial** e **sazonalidade**. Em **picos** (safras, *peak season*), medidas como **agendamentos dinâmicos**, **faixas de vale**, **retirada off-dock** e **contratos sazonais ferroviários** têm **elasticidade** superior; fora do pico, **pools de equipamento** e **reposicionamento coordenado** capturam ganhos de acesso, mitigando **subutilização** e **desbalanceamento** de contêineres (UNCTAD, 2020; DREWRY, 2021). No **mapa geopolítico**, carteiras com **participações-alvo** por gateway e **mix de origens** (China+1, nearshoring) reduzem **correlações de risco** e encurtam **lead times**, protegendo o **TLC** sob sanções e choques energéticos (USDOT, 2020; NOTTEBOOM; RODRIGUE, 2021).

Por fim, o **go/no-go** da carteira deve ser regido por **limites de risco** e **metas de resiliência**. **Operational VaR** e **Expected Shortfall** de indicadores de serviço (OTIF, *backlog clearing*) definem **faixas toleráveis**; **metas TTR/TTS**por SKU e corredor viram **restrições do**

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

S&OP/S&OE; **limiares** (GLP abaixo de X%, bunker/diesel acima de banda) **disparam** o exercício de opções e **reconfiguram** fluxos conforme o *playbook* (ISO 22301, 2019; SEA-INTELLIGENCE, 2021). Assim, a carteira é mais que um conjunto de ideias: é um **mecanismo operável** que transforma **sinais** em **ação** com *timing* e responsabilidades claros.

6. Governança, dados e *signposts* de ativação: do PCS e torres de controle ao S&OP orientado por gatilhos

A **governança da resiliência** traduz cenários e carteiras em **rotina de decisão**. Na base, **Port Community Systems (PCS)** e **Janelas Únicas Digitais** consolidam **dados operacionais e documentais** (ETA/ETD, filas, produtividade, inspeções) em **padrões abertos** com **APIs seguras**, reduzindo **assimetria informacional** e **tempo morto** (IAPH, 2020; OECD/ITF, 2016). Sobre essa camada, **torres de controle interorganizacionais** integram **TOS/WMS/TMS/rail slots** e **indicadores de confiabilidade** (GLP/Sea-Intelligence), exibindo **KPI/KRI** orientados a **gatilhos** (ex.: *truck turn time* > X, *dwell* > Y, fila de ancoragem > Z) que acendem **playbooks** preautorizados — abrir janelas, priorizar cargas críticas, ativar **off-dock**, recomendar **desvio multi-gateway** (WORLD BANK, 2020; SEA-INTELLIGENCE, 2021).

A definição de **signposts** — sinais precursores que antecipam a aproximação de um cenário — é o elo entre **inteligência** e **operação**. Exemplos incluem **quedas persistentes** de *schedule reliability* por aliança/serviço, **spikes** de **bunker/diesel** fora da banda (EIA), **aumento anormal** de **tempo de ancoragem** em gateways críticos (AIS), **alertas regulatórios** de **sanções/export controls**, **restrições em Panamá/Suez** e **indicadores de *driver shortage*** (vagas, *spot rates* rodoviários) (USDOT, 2020; UNCTAD, 2020; SEA-INTELLIGENCE, 2021). Cada signpost precisa de **limiar numérico**, **responsável** e **ação padrão**; sem essa engenharia, a detecção vira curiosidade e não **decisão** (ISO 22301, 2019).

Dicionários de dados e **metodologias de cálculo** são imprescindíveis para que **comparações** façam sentido: *dwell* por tipo de carga/serviço, *truck turn time* por janela, *rail utilization* planejado vs. realizado, **dispersão** de atrasos, **persistência** de erro por serviço, **TTR** simulado por intervenção (OECD/ITF, 2016). **Ciclos de reconciliação** (TOS ↔ PCS ↔ WMS/TMS) e **logs de auditoria** sustentam **accountability** e limitam disputas contratuais, sobretudo quando **indexação à confiabilidade** e **isenções condicionais** de *demurrage/detention* entram no jogo (IAPH, 2020; WORLD BANK, 2020). A **qualidade do dado** não é acessório: é **capacidade operacional**.

A **orquestração S&OP/S&OE** orientada por gatilhos conecta a torre de controle à **execução**. No **S&OP**, definem-se **metas TTR/TTS**, **limites de VaR** e **mix alvo** de gateways e modais por SKU; no **S&OE**, aplicam-se **playbooks**quando **signposts** cruzam limiares — **exercer opções** de slots, **migrar** *sailing* para *all-water* ou *land-bridge*, **pré-posicionar estoques**, **acionar** portos secos e **estender janelas** (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2008; CHRISTOPHER, 2016).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Rituais curtos (briefings diários, *war rooms* semanais) evitam **latência decisória** e dão **ritmo**à adaptação, com **AARs** pós-evento gerando **melhoria contínua** (ISO 22301, 2019; SHEFFI, 2015).

A camada **contratual-informacional** precisa de **pre-autorização** para funcionar em minutos, não semanas: quem pode **desviar** X% da carteira? Quem **acessa** reservas de capacidade? Quem **assina** isenção de *demurrage* condicionada? Quais **dados** são publicados para **auditar** a decisão? Sem esses **direitos de ação** e **limites** no papel, a torre de controle vira painel de observação (IAPH, 2020; WORLD BANK, 2020). **Segregação de funções** e **compliance** preservam integridade, especialmente em ambientes com **alianças** e operadores integrados (OECD/ITF, 2016).

Ciber-resiliência e **continuidade** são condições transversais. **Backups desconectados** de TOS/PCS, **planos de contingência** para *fallback* manual, e **testes de restauração** periódicos reduzem a chance de que um **incidente cibernético** neutralize a governança no pior momento (ISO 22301, 2019). Em cenários geopolíticos, **alvos de disrupção** podem incluir infraestrutura digital; por isso, **telemetria redundante**, **acesso degradado** e **protocolos de comunicação** alternativos (rádio, SMS) precisam estar no **playbook**, com **treinos** regulares (SHEFFI, 2015).

A **transparência seletiva** com o ecossistema fortalece a legitimidade das decisões. **Painéis públicos** de **turnaround/dwell/confiabilidade** com metodologia explícita, **barômetros** periódicos (IAPH) e **relatórios de desempenho** por corredor sustentam **accountability** e **alinhamento** entre atores, reduzindo a tentação de **soluções particulares** que concentram ganhos e socializam perdas (IAPH, 2020; WORLD BANK, 2020). Em mercados concentrados, **agregação/atraso** de dados preserva competição enquanto entrega **coordenadas comuns** para ação (OECD/ITF, 2016; HARALAMBIDES, 2019).

Capacitação fecha o ciclo: equipes capazes de ler **signposts**, operar **gêmeos digitais**, e traduzir **métricas** em **decisões**são tão importantes quanto guindastes e trilhos. Programas de **formação** em **filas e redes**, **contratos logísticos**, **S&OP/S&OE** e **análise de risco** devem ser contínuos, com **laboratórios vivos** em terminais e **simulações** integradas à rotina (CHRISTOPHER, 2016; IVANOV; DOLGUI, 2020). Bonificações atreladas a **TTR reduzido**, **OTIF preservado** e **queda de *demurrage/detention*** alinham comportamento ao objetivo de **resiliência mensurável**(SHEFFI, 2015).

Finalmente, **governança, dados e signposts** só criam valor quando **ancorados em orçamento e metas**. **KPIs/KRIs**entram no **plano anual**, **carteiras** recebem funding com **portões de fase** condicionados a **redução de TTR** e **perda evitada**, e **revisões trimestrais** ajustam **limiares** conforme o ambiente muda (USDOT, 2020; ISO 22301, 2019). Assim, o sistema deixa de depender de "heróis operacionais" e passa a operar sob um **Regime Operacional de Resiliência** reproduzível, onde **sinais** viram **ações** e **ações** viram **métricas** auditáveis.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

7. Validação empírica e aprendizagem: evidências dos corredores EUA sob choque geopolítico e volatilidade de frete

A utilidade do planejamento de cenários depende de sua **validade externa**: modelos e *playbooks* precisam replicar padrões observados e explicar variabilidade residual de **TTR**, **OTIF** e **TLC** em choques reais. No **transpacífico**, a combinação entre **queda de *schedule reliability***, **filas de ancoragem** e **restrições de chassis/motoristas** gerou degradações simultâneas em **turnaround** e **dwell**, efeito previsto por modelos de **filas interconectadas** e **percolação**quando múltiplos nós operam com ρ≈1 (Sea-Intelligence, 2021; World Bank, 2020; Ivanov; Dolgui, 2020). Em testes retrospectivos, gêmeos digitais que acoplaram **dados AIS/TOS/PCS** e **bandas de bunker/diesel** reproduziram **curvas de backlog** e **janelas de atraso** com erro aceitável, reforçando a adequação do arcabouço para **decisões de mitigação**(Notteboom; Rodrigue, 2021; UNCTAD, 2020).

No **land-bridge Oeste → interior/Midwest**, a **capacidade ferroviária** e a **aderência a agendamentos** no *drayage*explicaram diferenças de TTR entre **rotas semelhantes** em frete marítimo, o que valida a premissa de **acoplamento intermodal** e a necessidade de **KRIs terrestres** (truck turn time, *slot* ferroviário utilizado/planejado) no painel de resiliência (USDOT, 2020; OECD/ITF, 2016). Em exercícios de *what-if*, a ativação de **janelas estendidas** e **trens adicionais** antecipada por **signposts** (queda de confiabilidade por aliança; aumento de *anchor time*) reduziu **backlog clearing** em dezenas de horas, com **perda evitada** relevante no **TLC** (Sea-Intelligence, 2021; World Bank, 2020). Esses resultados sustentam a inclusão de **gatilhos operacionais** nos contratos e no S&OE.

No **all-water para Costa Leste/Golfo**, cenários que combinaram **Panamá pressionado** e **clima Atlântico** mostraram que a **diversificação real de gateways** mitiga risco, mas só preserva **margem** quando acompanhada de **off-dock/portos secos** e **SOPs** de priorização por valor de tempo; do contrário, o ganho oceânico é anulado pelo **spillback**em pátios e *gates* (Notteboom; Pallis, 2020; World Bank, 2020). Simulações indicaram que **padrões técnicos**(embalagem, etiquetagem, EDI/API) reduzem em semanas o *ramp-up* de rotas alternativas, justificando investimentos de **baixo CAPEX** com alto impacto em **TTR** (OECD/ITF, 2016; Christopher, 2016). Esse achado reforça a tese da **modularidade** como alavanca de resiliência.

Em **custos de frete**, a ligação **energia → tarifas → TLC** foi validada ao se parametrizar **BAF/diesel/jet-A** com séries de **EIA** e elasticidades por modo; *spikes* simultâneos elevaram **frete premium**, ativando *playbooks* que migraram parte do mix **rodoviário → ferroviário/intermodal** e **oceânico → aéreo** para SKUs **time-sensitive**, com impacto positivo em **OTIF** e **receita preservada** (EIA, 2021; UNCTAD, 2020; Chopra; Meindl, 2016). O **custo de oportunidade** de não ativar a opção — mensurado por **área do triângulo da resiliência** — superou o prêmio pago por **opções de capacidade**, corroborando a **economia das opções** em volatilidade (Simchi-Levi; Kaminsky; Simchi-Levi, 2008; Sheffi, 2015).

Na dimensão **contratual**, estudos de caso com **indexação à confiabilidade** e **SLAs de contingência** mostraram redução de **litígios** e **latência decisória** quando **dicionários métricos** e

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

APIs estavam codificados ex-ante em **PCS**; a ausência desses elementos gerou **disputas de versão** que postergaram ações durante a janela crítica (IAPH, 2020; World Bank, 2020). A **isenção condicional de *demurrage/detention*** quando a causa raiz era terminal/hinterland acelerou **giro de caixas** e melhorou **disponibilidade de equipamento**, reduzindo **fretes prêmio** em corredores congestionados (UNCTAD, 2020; Drewry, 2021). Esses resultados respaldam **políticas pró-fluidez** em crise.

Em **nearshoring** (USMCA), pilotos com **mix parcial de origens** mostraram queda de **capital de giro** e **lead time**, com **TTR** inferior sob choques oceânicos, porém com **riscos institucionais** e **restrições transfronteiriças** que exigem **Single Window interoperável** e **slot** ferroviário confiável; a **vantagem líquida** emergiu quando **compliance** e **capacidade** foram resolvidos por **acordos bilaterais** e **investimentos modulares** (USDOT, 2020; OECD/ITF, 2016). O aprendizado é que **substituição de risco** precisa vir acompanhada de **padrões e governança** para não trocar um gargalo por outro (Haralambides, 2019; Rodrigue, 2020).

Na **ciber-resiliência**, incidentes setoriais evidenciaram que **backups desconectados** e **planos de *fallback*** preservam **governança** quando **PCS/TOS** são afetados; exercícios de mesa reduziram **tempo de restauração** e **perda informacional**, mantendo **S&OE** operativo em modo degradado (ISO 22301, 2019; Sheffi, 2015). Em termos de cenários, a camada cibernética foi integrada como **choque transversal** com **gatilhos** de **comunicação alternativa** e **direitos de decisão degradados**, validando o princípio de que **dados** são infraestrutura crítica de resiliência (IAPH, 2020; World Bank, 2020).

Quanto à **mensuração de valor**, *dashboards* que traduziram **TTR/OTIF** e **frete** em **TLC** e **Operational VaR** tornaram **aprovação de CAPEX/OPEX** mais célere, pois deslocaram o discurso de "custo adicional" para "**perda evitada** e **margem preservada**", linguagem-ponte entre operações e finanças (Ponomarov; Holcomb, 2009; Sheffi, 2015). Na reavaliação trimestral, carteiras com **buffers estruturais** (multi-gateway, off-dock) e **opções contratuais** dominaram arranjos baseados apenas em **estoques físicos**, sobretudo para SKUs com **alto valor de tempo** (Christopher, 2016; Sea-Intelligence, 2021). A evidência empírica, portanto, alinha-se às teses do modelo.

Por fim, a **aprendizagem institucional** — via **AARs** e **versões de *playbook*** — mostrou-se determinante para manter **viabilidade dinâmica**: equipes que rodaram **simulações** e **ensaios** reduziram **erros de timing** na ativação de opções e melhoraram **backlog clearing** em ondas subsequentes (ISO 22301, 2019; Ivanov; Dolgui, 2020). O *insight* é claro: cenários são **capacidade praticada**, não documento; sua eficácia cresce com **repetição deliberada**, **governança multilateral** e **métricas públicas**.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

8. Roteiro de implantação (*roadmap*) e governança: da prova de conceito ao regime operacional de resiliência

O **roadmap** inicia com um **diagnóstico de materialidade**: mapear **corredores críticos**, **SKUs A/B por valor de tempo**, **gargalos prováveis** (portos, rail, *drayage*, compliance) e **dependências energéticas**, produzindo um **registro de riscos** com **donos**, **KRIs/KPIs** e **metas TTR/TTS** (USDOT, 2020; ISO 22301, 2019). Em paralelo, definir **eixos de incerteza** (*axes-of-uncertainty*) para o portfólio de cenários (geopolítica; frete/energia; capacidade intermodal) e **storylines** coerentes que alimentem o **gêmeo digital** (Wack, 1985; Schoemaker, 1995). O resultado é um **mapa de decisões** que vincula **gatilhos** a **opções** (desvio, reservas de capacidade, janelas) e **buffers** (estoques ponte, off-dock).

Na **Fase 1 (0–90 dias)**, construir o **painel mínimo viável**: integrar **AIS/ETA**, **TOS**, **PCS**, **WMS/TMS** e **dados ferroviários** para exibir **confiabilidade por serviço**, **fila/ancoragem**, **turnaround/dwell**, **truck turn time**, **slot**ferroviário e **disponibilidade de contêiner**, com **dicionário métrico** e **SLA de dados** acordados (IAPH, 2020; World Bank, 2020). Em paralelo, **prototipar** o **gêmeo digital** de um corredor piloto (ex.: transpacífico → Midwest) e rodar **cenários base**, calibrando parâmetros com séries 2018–2021 (Sea-Intelligence, 2021; Ivanov; Dolgui, 2020). Essa base permite **decisões rápidas** já no primeiro pico sazonal.

Na **Fase 2 (90–180 dias)**, institucionalizar **torre de controle interorganizacional** com **direitos de decisão preautorizados** e **playbooks** codificados: **abrir janelas**, **priorizar cargas críticas**, **ativar off-dock**, **desviar X%** para gateway alternativo quando **limiares** forem cruzados (ISO 22301, 2019; Christopher, 2016). Em contratos, implantar **SLAs de contingência**, **indexação à confiabilidade** e **opções de capacidade** para serviços e gateways relevantes; em equipamento, negociar **pools/box interchange** regionais com **governança neutra** (Drewry, 2021; UNCTAD, 2020). A ênfase é **reducir latência decisória** em choques.

Na **Fase 3 (6–12 meses)**, escalar **buffers estruturais**: **portos secos**, **terminais retroportuários**, **coortes de chassis** e **contratos sazonais ferroviários**, priorizando corredores onde **TTR** é mais sensível à **evacuação do pátio** e ao **linehaul** (World Bank, 2020; OECD/ITF, 2016). Em paralelo, padronizar **embalagem/etiquetagem/mensageria** para **substituibilidade plug-and-play** entre gateways e operadores, reduzindo **tempo de requalificação** e **custo de desvio**(Christopher, 2016; Notteboom; Pallis, 2020). Essa fase consolida **redundância geográfica real**.

Na **Fase 4 (12–24 meses)**, investir em **capacidade modular** e **automação seletiva** onde **curvas de resposta** do gêmeo indicarem **alto ganho marginal** em **TTR** por unidade de capital: **berços em fases**, **STS adicionais**, **yard automation**parcial, **corredores ferroviários escaláveis**, **zonas logísticas** para **off-dock** (Ivanov; Dolgui, 2020; World Bank, 2020). Vincular **pagamentos por disponibilidade** a **SLAs de contingência** reduz o risco de demanda e acelera *payback*, transformando resiliência em **ativo bancável** (Sheffi, 2015). A governança deve prever **portões de fase** e **revisões trimestrais** por **perda evitada**.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

O **enxoval regulatório** envolve **Single Window**, **harmonização de anuências** e **metas públicas** (turnaround, *dwell*, confiabilidade), com **padrões de dados abertos** e **barômetros periódicos** para diminuir **ruído político** e alinhar incentivos (USDOT, 2020; IAPH, 2020; OECD/ITF, 2016). Em **cooperação transfronteiriça** (USMCA), priorizar **interoperabilidade** documental e **slots ferroviários**; em **chokepoints** (Panamá/Suez), incorporar **signposts**hidrológicos e de **tráfego AIS** aos *playbooks* de desvio (Notteboom; Rodrigue, 2021; UNCTAD, 2020). O fio condutor é que **dados e regras** são tão críticos quanto **guindastes e trilhos**.

No **capital humano**, criar **trilhas de capacitação** para leituras de **signposts**, operação de **gêmeos digitais**, **contratos com opções** e **S&OP/S&OE por gatilhos**; rodar **simulações** mensais e **AARs** pós-pico para fixar aprendizagem (Christopher, 2016; ISO 22301, 2019). **Bonificações** atreladas a **TTR reduzido**, **OTIF preservado** e **queda de demurrage/detention** alinham comportamento a **resiliência mensurável** (Sheffi, 2015). A cultura desejada favorece **disciplina de dados**, **execução preautorizada** e **cooperação multilateral**.

No **financeiro**, incorporar **Operational VaR** e **Expected Shortfall** de serviço ao **ciclo orçamentário** e aprovar **carteiras de mitigação** por **perda evitada**; estruturar **seguros paramétricos** e **opções de capacidade** com **gatilhos verificáveis** (GLP, filas, *dwell*), e usar o gêmeo para **precificar** o **prêmio racional** (Ponomarov; Holcomb, 2009; Sea-Intelligence, 2021). Relatórios para o conselho devem exibir **fronteiras eficientes** entre **estoque físico**, **buffers estruturais** e **opções**, com **metas TTR/OTIF** como restrições, não *nice-to-haves* (Simchi-Levi; Kaminsky; Simchi-Levi, 2008; Sheffi, 2015).

Finalmente, o **regime operacional de resiliência** consolida-se quando **sinais viram ações** e **ações viram métricas** sob **governança predefinida**: **signposts** monitorados pela torre; **gatilhos** acionando **playbooks**; **dados auditáveis** em **PCS/Single Window**; **contratos** com **SLAs/opções/isenções condicionais**; **AARs** realimentando modelos; e **metas públicas** alinhando ecossistemas (World Bank, 2020; IAPH, 2020; ISO 22301, 2019). Esse ciclo fecha a distância entre **antecipação** e **execução**, reduzindo **a área do triângulo da resiliência** e estabilizando **TLC** em cenários adversos (Notteboom; Rodrigue, 2021; Sea-Intelligence, 2021).

Conclusão

A investigação desenvolvida ao longo deste artigo sustentou que **planejamento de cenários** é mais do que um exercício narrativo: é um **mecanismo operacional** para reduzir a exposição de cadeias de suprimentos dos EUA a **disrupções geopolíticas** e à **volatilidade dos custos de frete**, desde que conecte storylines plausíveis a **modelos quantitativos** e **gatilhos de decisão** acoplados ao S&OP/S&OE. Ao combinar **simulação por eventos discretos, dinâmica de sistemas e agentes** com **Monte Carlo** e indicadores como **TTS/TTR, OTIF, Operational VaR e perda evitada**, demonstramos que a utilidade prática dos cenários cresce quando suas premissas são ancoradas em **signposts mensuráveis** (queda persistente de *schedule reliability*, *spikes* de bunker/diesel, filas/ancoragem por AIS, mudanças regulatórias), tudo traduzido em **playbooks**

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

preautorizados (Wack, 1985; Schoemaker, 1995; Sheffi, 2015; Sea-Intelligence, 2021; USDOT, 2020).

Em termos de **fenomenologia do risco**, mostramos que choques aparentemente exógenos — sanções comerciais, eventos em *chokepoints*, greves, extremos climáticos — materializam-se nos **elos portuários e intermodais** como **filas, perda de produtividade e aumento de variância**, gatilhando **percolação** de atrasos em redes com alta centralidade e buffers subdimensionados. A teoria de **filas interconectadas** e a **ciência de redes** explicam por que pequenas quedas de produtividade em múltiplos nós ($\rho \approx 1$) produzem **crescimentos superlineares** de backlog, ampliando a **área do triângulo da resiliência** e degradando o **TLC** além do que sugerem médias históricas (Ivanov; Dolgui, 2020; World Bank, 2020; Notteboom; Rodrigue, 2021). O cenário, quando bem construído, antecipa esse regime crítico e determina **onde desacoplar** e **quando desviar**.

No vetor **econômico**, a decomposição do frete em seus **componentes tarifários** (base rate, BAF/CAF, GRI/PSS, congestionamento, *equipment imbalance*) e custos terrestres (drayage/chassis, linehaul ferroviário, *terminal handling*, *last mile*) revela **mecanismos de transmissão** até o **Total Landed Cost**, inclusive via **estoques de segurança**, **capital de giro**, **expedições de contingência** e **penalidades contratuais** por janelas perdidas. A integração **energia ↔ tarifa ↔ TLC** — com bandas para bunker/diesel/jet-A e elasticidades por modo — mostrou-se crítica para valorar **opções reais** (reservas de capacidade, multi-gateway, *box pools*) e para dimensionar **buffers estruturais** que preservem **margem** quando a confiabilidade degrada (UNCTAD, 2020; EIA, 2021; Chopra; Meindl, 2016; Sheffi, 2015).

No plano **geográfico-estratégico**, as **matrizes de risco** por corredor (transpacífico, transatlântico, Golfo/Américas) e por **chokepoints** (Panamá, Suez, Estreito de Malaca, Taiwan Strait) indicaram que **diversificação real de gateways**combinada a **off-dock/portos secos** e **padronização técnica** (embalagem, etiquetagem, EDI/APIs) cria **opcionalidade operacional** com custo total competitivo. Em paralelo, **China+1** e **nearshoring USMCA** reduzem exposição a rotas oceânicas críticas, mas só entregam resiliência líquida quando acompanhados de **interoperabilidade documental** e **capacidade transfronteiriça** (USDOT, 2020; OECD/ITF, 2016; Notteboom; Pallis, 2020; Rodrigue, 2020). Cenários permitem **sequenciar** essas transições e **precificar ramp-ups** com *bridging stock*.

A **governança de dados** emergiu como infraestrutura da previsibilidade. **Port Community Systems** e **Janelas Únicas Digitais** reduziram **latência informacional** e **ruído** entre atores, habilitando **torres de controle interorganizacionais**com **direitos preautorizados** para abrir janelas, priorizar cargas críticas, acionar **off-dock** e recomendar **desvios**, sempre com **dicionários métricos**, **APIs seguras** e **logs de auditoria**. A experiência compilada em barômetros portuários e relatórios de desempenho indica que comunidades com **padrões de dados abertos** e **publicação regular**de KPIs atravessaram melhor a volatilidade 2019–2021, tornando **SLAs indexados à**

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

confiabilidade e **isenções condicionais de demurrage/detention** operacionalizáveis e auditáveis (IAPH, 2020; World Bank, 2020; OECD/ITF, 2016).

No domínio **contratual-incentivos**, argumentamos e ilustramos que **SLAs de contingência** com **gatilhos objetivos**, **opções de capacidade** e **mecanismos de *gain-sharing*** convertem cenários em **seguro operacional** acionável, reduzindo **latência decisória** e **litígios** em janelas críticas. Em cenários severos, **pools interorganizacionais de contêineres** e **acordos de *box interchange*** mostraram-se eficazes para mitigar **desbalanceamentos** e **subutilização de equipamento**, liberando slots para carga pagante e reduzindo **fretes prêmio** — resultado reforçado por políticas de **demurrage/detention** condicionais à causa raiz (Drewry, 2021; Clarksons Research, 2021; UNCTAD, 2020). A coerência contratual, portanto, potencializa a engenharia de processos.

A análise do **valor** mostrou que decisões precisam migrar de "custo por TEU" para **perda evitada** e **redução de TTR**por unidade de capital, comparando **fronteiras eficientes** entre **estoques físicos**, **buffers estruturais** e **opções contratuais**. **Gêmeos digitais** calibrados com séries 2018–2021 foram cruciais para traduzir **curvas de resposta** (ex.: +1 trem/dia, +1 janela noturna, X% de *box pool*) em **OTIF preservado**, **demurrage/detention reduzidos** e **TLC estabilizado**, linguagem que aproxima conselhos e operações e facilita aprovar **CAPEX/OPEX** com critérios de **Operational VaR** e **Expected Shortfall** (Ponomarov; Holcomb, 2009; Sheffi, 2015; Ivanov; Dolgui, 2020).

No **roteiro de implantação**, defendemos uma senda em quatro fases: **(i)** painel mínimo viável e gêmeo de corredor piloto; **(ii)** torre de controle com **direitos de ação**, **playbooks** e **contratos** com SLAs/indexação/opções; **(iii)**escalonamento de **buffers estruturais** (portos secos, off-dock, contratos ferroviários sazonais) e **padronização** para substituição **plug-and-play**; **(iv)** investimentos em **capacidade modular e automação seletiva** ancorados em **pagamentos por disponibilidade** e metas TTR. O fio condutor é um **Regime Operacional de Resiliência** onde **sinais viram ações** e **ações viram métricas** sob **governança predefinida** (ISO 22301, 2019; USDOT, 2020; World Bank, 2020).

A dimensão **pública e transfronteiriça** é inseparável do desempenho privado: **metas de desempenho divulgadas**, **padrões de dados abertos**, **harmonização regulatória** e **acordos de interoperabilidade** (aduana, fitossanitário, segurança) reduzem o "efeito fronteira", encurtam **TTR** sistêmico e criam **legitimidade** para priorizações em escassez. Em paralaxe com a **agenda climática**, investimentos em **adaptação** (infraestrutura física) e **descarbonização** (shore power, eletrificação de pátio) apresentaram **co-benefícios de confiabilidade**, diminuindo paradas não planejadas e ampliando **redundância energética** (Haralambides, 2019; World Bank, 2020; UNCTAD, 2020). A resiliência, assim, alinha-se à sustentabilidade como **vantagem de ecossistema**.

Como **agenda de pesquisa e prática**, ficam três trilhas: **(a)** métodos padronizados para **precificação de opções reais**em contratos logísticos e *box pools* sob volatilidade de frete e regimes geopolíticos; **(b)** integração operacional de **gêmeos digitais** ao **S&OP/S&OE**, com **signposts**

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

automatizados e **feedback** por *After Action Reviews*; **(c)** métricas de **resiliência de ecossistema** que capturem **efeitos distributivos** e **reputacionais** além da firma, inclusive sob recortes climáticos e cibernéticos. O ganho marginal esperado está em **reduzir a distância** entre *insight* e **execução**, padronizando como priorizamos **buffers, dados e contratos** (Sea-Intelligence, 2021; IAPH, 2020; ISO 22301, 2019).

Em síntese, **planejar cenários** para as cadeias norte-americanas é **desenhar respostas** antes da crise: **onde integrar**para controlar o que não pode falhar, **como modularizar** para preservar **opcionalidade**, **quando ativar** opções e **quanto investir** para **reduzir TTR** e **preservar margem** sob choques. O arcabouço proposto — **métrico, modelado e governado** — substitui improviso por **engenharia de resiliência**, transformando variabilidade geopolítica e tarifária em **risco administrável** e, por extensão, em **vantagem competitiva repetível** para empresas e corredores que o adotarem (Christopher, 2016; Notteboom; Rodrigue, 2021; USDOT, 2020; Sheffi, 2015).

Referências

CHOPRA, S.; MEINDL, P. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. 6. ed. Boston: Pearson, 2016.

CHRISTOPHER, M. *Logistics & Supply Chain Management*. 5. ed. Harlow: Pearson, 2016.

CLARKSONS RESEARCH. *Container Intelligence Quarterly*. London: Clarksons Research, 2021.

DREWRY. *Container Forecaster*. London: Drewry Maritime Research, 2021.

EIA – U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Short-Term Energy Outlook*. Washington, DC: EIA, 2021.

HARALAMBIDES, H. E. Gigantism in container shipping, ports and global logistics: a time-lapse into the future. *Maritime Economics & Logistics*, v. 21, p. 1–60, 2019.

IAPH – INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PORTS AND HARBORS. *COVID-19 Port Economic Impact Barometer*. Antwerp: IAPH, 2020.

ISO. *ISO 22301:2019 — Security and Resilience — Business Continuity Management Systems — Requirements*. Genebra: ISO, 2019.

IVANOV, D.; DOLGUI, A. Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles. *International Journal of Production Research*, v. 58, n. 10, p. 2904–2915, 2020.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

NOTTEBOOM, T.; PALLIS, A. Port Economics, Management and Policy: COVID-19 and the impact on ports. Relatórios/briefs, 2020.

NOTTEBOOM, T.; RODRIGUE, J.-P. Port congestion and the destabilization of supply chains in 2020/2021. *Maritime Economics & Logistics*, 2021.

OECD/ITF – INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. *Policies to Enhance Intermodal Connectivity and Performance*. Paris: OECD Publishing, 2016.

PONOMAROV, S. Y.; HOLCOMB, M. C. Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, v. 20, n. 1, p. 124–143, 2009.

RODRIGUE, J.-P. *The Geography of Transport Systems*. 4. ed. New York: Routledge, 2020.

SCHOEMAKER, P. J. H. Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan Management Review*, v. 36, n. 2, p. 25–40, 1995.

SEA-INTELLIGENCE MARITIME ANALYSIS. *Global Liner Performance (GLP) Report*. Copenhagen: Sea-Intelligence, 2021.

SHEFFI, Y. *The Power of Resilience: How the Best Companies Manage the Unexpected*. Cambridge, MA: MIT Press, 2015.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*. 3. ed. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2008.

UNCTAD – UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. *Review of Maritime Transport 2020*. Geneva: UNCTAD, 2020.

USDOT – UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National Freight Strategic Plan*. Washington, DC: USDOT, 2020.

WACK, P. Scenarios: Shooting the rapids. *Harvard Business Review*, v. 63, n. 6, p. 139–150, 1985.

WORLD BANK; IHS MARKIT. *Container Port Performance Index 2020*. Washington, DC: World Bank, 2020.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.