



Integração Vertical e Horizontal na Cadeia de Suprimentos: Impactos na Resiliência Operacional

Vertical and Horizontal Integration in the Supply Chain: Impacts on Operational Resilience

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 investiga como estratégias de **integração vertical** (para montante e jusante) e **integração horizontal** (entre pares/setores adjacentes) influenciam a **resiliência operacional** de cadeias de suprimentos em ambientes de alta volatilidade. Combinando fundamentos de economia dos custos de transação e da visão baseada em recursos com literatura de gestão de operações e continuidade de negócios, propõe-se um quadro analítico que vincula **estrutura de governança** (make-or-buy, alianças e fusões), **arquitetura de rede** (centralidade, redundância, modularidade) e **práticas de resposta** (visibilidade, flexibilidade, buffers e substituíbilidade) a métricas de **robustez, agilidade e capacidade de recuperação** (MTTR, service level, fill rate e backlog clearing). Argumenta-se que a integração vertical tende a **eleva controle, coordenação e priorização de capacidade**, mitigando risco de ruptura em insumos críticos, ao passo que a integração horizontal pode **ampliar escopo, economias de escala e compartilhamento de capacidades**, acelerando **reconfiguração** diante de choques. Entretanto, efeitos adversos — **rigidez, concentração de risco, lock-in e perda de opcionalidade** — emergem quando a integração é conduzida sem critérios de **viabilidade dinâmica e governança adaptativa**. O trabalho sintetiza evidências e propõe diretrizes para desenho organizacional, critérios de investimento e medição de resiliência.

Palavras-chave:

Integração vertical; integração horizontal; cadeia de suprimentos; resiliência operacional; governança; custos de transação.

Abstract

This paper examines how **vertical integration** (upstream/downstream) and **horizontal integration** (among peers/adjacent sectors) shape **operational resilience** in supply chains facing high volatility. Combining transaction cost economics and resource-based views with operations

and business continuity literatures, we propose an analytical framework linking **governance structures** (make-or-buy, alliances and M&A), **network architecture** (centrality, redundancy, modularity) and **response practices** (visibility, flexibility, buffers and substitutability) to **robustness, agility and recovery** metrics (MTTR, service level, fill rate and backlog clearing). We argue vertical integration typically **raises control, coordination and capacity prioritization**, mitigating supply disruption risks for critical inputs, while horizontal integration can **expand scope, scale and shared capabilities**, speeding **reconfiguration** under shocks. However, downsides — **rigidity, risk concentration, lock-in and loss of optionality** — arise if integration ignores **dynamic viability** and **adaptive governance**. The study synthesizes evidence and offers guidelines for organizational design, investment criteria and resilience measurement. **Keywords:** vertical integration; horizontal integration; supply chain; operational resilience; governance; transaction costs.

1. Fundamentos conceituais, histórico e hipótese de valor da integração

A **integração vertical** descreve a internalização de elos a montante (fornecedores de insumos, tecnologia, logística primária) e/ou a jusante (distribuição, varejo, serviços pós-venda), com o objetivo de reduzir **custos de transação**, mitigar **hazards contratuais** e capturar **quase-rendas** de coordenação (COASE, 1937; WILLIAMSON, 1985). Ao ampliar escopo dentro da **cadeia de valor** (PORTER, 1985), firmas integram atividades antes mediadas por contratos de mercado, buscando **sincronização de fluxos**, padronização e prioridade de capacidade em contingências. Historicamente, ondas de integração acompanharam paradigmas tecnológicos e logísticos — da empresa multidivisional do século XX às plataformas digitais — em que **economias de escopo e de coordenação** eram fontes de vantagem (CHANDLER, 1977; TEECE, 1986).

A **integração horizontal**, por sua vez, refere-se à coordenação entre empresas do mesmo estágio (ou adjacentes) por meio de **alianças, consórcios, joint ventures e M&A**, visando **escala, densidade de rede e compartilhamento de ativos** (PORTER, 1985; CHOPRA; MEINDL, 2016). Em cadeias fragmentadas, o acoplamento horizontal pode criar **pools de capacidade**, normalizar **interfaces técnicas** e facilitar **substituição cruzada** quando um nó falha, melhorando **conectividade funcional** e **capacidade de roteamento** (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2008). Ao mesmo tempo, a horizontalização excessiva pode concentrar poder de mercado e reduzir diversidade de provedores, tornando a rede **mais eficiente, porém menos resiliente** (SHEFFI, 2005; TANG, 2006).

No plano econômico, a decisão de integrar é classicamente tratada como problema **make-or-buy**, dependente de **frequência, especificidade de ativos, incerteza e mensurabilidade de performance** (WILLIAMSON, 1985). Ambientes com **elevada especificidade** (p. ex., moldes dedicados, firmware proprietário, certificações críticas) e **altos riscos de hold-up** favorecem integração vertical; contextos com **baixa especificidade** e **mercados líquidos** favorecem governança por contratos e **parcerias modulares** (COASE, 1937; TEECE, 1986). Em resiliência, a mesma lógica reinterpreta-se como **trade-off entre controle e opcionalidade**: internalizar reduz

exposição a terceiros, porém pode **rigidificar a capacidade**, enquanto modularizar preserva **graus de liberdade** para recombinar fornecedores (CHRISTOPHER, 2016).

No plano operacional, integrar altera **arquitetura de decisões**: lead times endógenos, sincronização de planejamentos (S&OP/S&OE), **políticas de estoque acopladas** e governança de dados/visibilidade fim-a-fim. A verticalização viabiliza **planejamento hierárquico** com **priorização de ordens internas** em alocação de capacidade crítica (p. ex., semicondutores, APIs, slots logísticos), reduzindo a **variância de suprimento** e a **amplificação do efeito chicote** (CHOPRA; MEINDL, 2016). Já a horizontalização, quando baseada em **interoperabilidade**, habilita **capacidade compartilhada** e **mutual aid** entre pares, criando **buffers de rede** que amortecem choques localizados (IVANOV; DOLGUI, 2020).

Sob a ótica de **resiliência**, distinguem-se três dimensões: **robustez** (resistir sem degradar), **agilidade** (mudar rápido) e **capacidade de recuperação** (voltar ao regime meta em MTTR aceitável) (SHEFFI, 2015; PONOMAROV; HOLCOMB, 2009). A integração vertical tende a reforçar **robustez** via controle e redundância interna de capacidades críticas; a horizontal favorece **agilidade** e **recuperação** via recombinação entre parceiros e **rotas alternativas**. A solução ótima é contingente ao **perfil de risco** (disrupções raras e severas versus frequentes e leves) e ao **ciclo tecnológico** (IVANOV; DOLGUI, 2020; TANG, 2006).

Além disso, integração não é binária: há um **continuum de arranjos híbridos** — contratos de longo prazo com **VMI/CPFR**, **participações minoritárias**, **joint ventures de capacidade**, **licenciamento** com cláusulas de prioridade e **acordos de interoperabilidade técnica** — que permitem **orquestração** sem internalização total (SIMCHI-LEVI et al., 2008; CHOPRA; MEINDL, 2016). Esses arranjos possibilitam **resiliência configurável**, ajustando densidade de vínculos e regras de fallback sem perder eficiência.

Criticamente, a integração precisa ser avaliada à luz da **viabilidade dinâmica** do sistema: a capacidade de **absorver, adaptar e evoluir** frente a choques sem colapsar em regimes inferiores de performance (IVANOV; DOLGUI, 2020). Isso exige medir **elasticidades operacionais**, **gargalos de capacidade**, **dependências críticas** e o **custo de reconfiguração** (tempo, capital, talentos). Em muitos casos, **parcial vertical integration** em insumos bottleneck combinada a **redes horizontais** para picos de demanda é superior à integração total ou à terceirização total (SHEFFI, 2005; CHRISTOPHER, 2016).

Por fim, a hipótese de valor que guia este artigo é que **desenhos mistos** — integração vertical “cirúrgica” em pontos de alta especificidade e risco sistêmico, combinada com **horizontalização interoperável** — tendem a maximizar **resiliência operacional** ao equilibrar **controle** e **opcionalidade**, desde que suportados por **métricas financeiras e operacionais** consistentes e por **governança** que evite **rígidos lock-ins** (WILLIAMSON, 1985; TEECE, 1986; CHOPRA; MEINDL, 2016).

2. Mecanismos de impacto na resiliência: governança, arquitetura de rede e resposta

O primeiro mecanismo de impacto decorre da **governança**. Integração vertical substitui contratos por **autoridade hierárquica**, reduzindo **risco de oportunismo** e **custos de monitoramento** (WILLIAMSON, 1985). Em termos de resiliência, isso viabiliza **prioridade interna**, **padrões unificados** e **alinhamento de incentivos** ao objetivo de manter serviço em choque, mitigando **falhas de coordenação** típicas de redes multipartes (COASE, 1937). Entretanto, a concentração de decisões e de ativos em uma mesma firma também **concentra risco**: uma falha interna pode ter **alcance sistêmico** maior quando **diversidade de fornecedores** é substituída por **dependência interna única** (SHEFFI, 2005).

O segundo mecanismo é a **arquitetura de rede**. A verticalização geralmente **reduz a distância relacional** entre nós críticos (fornecedor → fábrica → distribuição), encurtando **caminhos de informação** e lead times, e tornando mais fácil **sincronizar buffers** e **políticas de reposição** (CHOPRA; MEINDL, 2016). Já a integração horizontal **umenta conectividade lateral**, cria **canais alternativos** e diminui **centralidade de gargalos**, aproximando a rede de uma topologia **modular** capaz de **isolar falhas** (IVANOV; DOLGUI, 2020). Redes **altamente centralizadas** são eficientes em regime normal, porém vulneráveis a choques direcionados; adicionar **redundância modular** eleva robustez com custo menor que duplicação integral.

O terceiro mecanismo é a **resposta**. Com mais elos internalizados, a firma pode **mobilizar recursos** sem renegociação, encurtando **tempo de decisão e execução**; isso importa em choques rápidos, em que janelas de reação são curtas (SHEFFI, 2015). Na horizontal, **capacidade compartilhada** e **acordos de mutual aid** fornecem **válvulas de escape** quando um nó satura, especialmente útil em **picos de demanda** ou quando **rotas logísticas** são interrompidas por eventos localizados (CHRISTOPHER, 2016). A **agilidade** aumenta quando interfaces são padronizadas (p. ex., embalagens, EDI/API, qualificação cruzada), permitindo **substituição plug-and-play**.

O quarto mecanismo envolve **buffers e substituíbilidade**. A verticalização permite **estoques estratégicos** em posições ótimas da rede — upstream para proteger produção, downstream para proteger serviço ao cliente — e **reservas de capacidade** sob controle único (CHOPRA; MEINDL, 2016). A horizontal favorece **substituíbilidade de nós**: múltiplos fornecedores qualificados, codesign de produto para **materiais alternativos**, **dual/triple sourcing** e **licenciamento cruzado** reduzem **single points of failure** (SIMCHI-LEVI et al., 2008; TANG, 2006). O desenho ótimo combina **buffers físicos** e **buffers estruturais**.

O quinto mecanismo é **visibilidade**. Em organizações verticalizadas, a **integração de dados** de planejamento e execução (MRP, APS, WMS/TMS, MES) viabiliza **detecção precoce** de desvios e **alocação dinâmica**; em horizontais, **torres de controle** multisserviço e **acordos de compartilhamento de dados** provêm **consciência situacional** interorganizacional (CHRISTOPHER, 2016). Sem visibilidade, nenhuma integração entrega resiliência: a **assimetria informacional** distorce decisões e amplia chicotes.

O sexto mecanismo refere-se a **custo de reconfiguração**. Verticalizar reduz **custos marginais de replanejamento interno**, mas pode elevar **custos fixos** (capex) e **rigidez tecnológica**; horizontalizar mantém **capex distribuído** e **opcionalidade tecnológica**, mas pode elevar custos de coordenação e **tempo de recomposição contratual**(WILLIAMSON, 1985; TEECE, 1986). A resiliência ótima depende da **elasticidade** necessária frente ao perfil de risco: choques raros e severos justificam **capacidade ociosa controlada**; choques frequentes e moderados favorecem **capacidade elástica compartilhada**.

O sétimo mecanismo é **compliance e continuidade**. Integração vertical facilita **uniformizar políticas** (qualidade, compliance, segurança, continuidade), favorecendo certificações de **ISO 9001, ISO 22301 e ISO 28000**; integração horizontal demanda **acordos de nível de serviço e auditorias cruzadas**, mitigando heterogeneidade regulatória entre parceiros (ISO 22301, 2019; ISO 28000, 2007). Em ambos, **governança documental e treinamento** sustentam a capacidade de execução sob estresse.

Por fim, o oitavo mecanismo é **desempenho financeiro sob choque**. Resiliência precisa ser expressa em **margem preservada, perda evitada, tempo de retomada e giro de capital**. A integração vertical afeta **mix de custo fixo/variável e margens**; a horizontal altera **economias de escala/escopo e pricing power**. A decisão deve ser **econômica, não ideológica**, com simulações de **stress-test** e **cenários** que valorizem a **opcionalidade real** (SHEFFI, 2015; CHOPRA; MEINDL, 2016).

3. Economia dos custos de transação e critérios *make-or-buy* no desenho da resiliência

A decisão de integrar verticalmente ou acoplar horizontalmente começa, classicamente, no dilema **make-or-buy**, cuja análise envolve **frequência de transações, especificidade de ativos, incerteza e dificuldade de mensuração do desempenho**. Em mercados com baixa especificidade e competição suficiente, contratos curtos e reprecificáveis tendem a disciplinar o oportunismo, tornando a compra externa mais eficiente; já em ambientes com **ativos idiossincráticos**(moldes dedicados, APIs proprietárias, certificações críticas) e alta incerteza, o risco de **hold-up** cresce e a internalização torna-se racional (COASE, 1937; WILLIAMSON, 1985). Quando trazemos a **resiliência operacional** para o centro da análise, a pergunta muda de “qual arranjo minimiza custo esperado em regime normal?” para “qual arranjo **minimiza a perda esperada** sob choques e acelera o **tempo de recuperação**?”. Nessa ótica, a especificidade de ativos não é apenas um problema de barganha, mas um **amplificador de risco sistêmico** que pode justificar **verticalização seletiva** em nós-bottleneck (WILLIAMSON, 1985; SHEFFI, 2015).

Um segundo fundamento é a **visão baseada em recursos (RBV)** e a noção de **quase-rendas** decorrentes de coordenação superior. Se a firma possui **capacidades dinâmicas** para reconfigurar rapidamente plantas, fornecedores e canais, a integração pode capturar sinergias difíceis de replicar via contrato, sobretudo quando o **conhecimento tácito** e os **rutinários operacionais** requerem aprendizado conjunto e **governança hierárquica** para florescer (TEECE, 1986). Em termos de

resiliência, a RBV sugere que o **valor de opcionalidade** embutido em arranjos menos integrados precisa ser comparado às **rendas de coordenação** da integração. Cadeias sujeitas a **ciclos tecnológicos curtos** e risco de obsolescência podem preferir **horizontalização interoperável** (consórcios, licenciamento cruzado), enquanto cadeias de **alto compliance e segurança** (saúde, defesa, alimentos) tendem a valorizar o **controle vertical** e a redução da variância de fornecimento (TEECE, 1986; CHOPRA; MEINDL, 2016).

A **incerteza** não é homogênea: distingue-se a **estocástica** (variação aleatória em demanda/suprimento) da **knightiana** (não mensurável ex-ante) e da **estrutural** (mudanças de regime). Em incerteza estocástica moderada, **contratos com flexibilidades** (janelas, bandas, opções de volume) podem igualar os benefícios da integração a custos menores; já sob incerteza estrutural — rupturas geopolíticas, pandemias, shocks climáticos — a **capacidade de comando e priorização** típica da verticalização reduz a exposição a **coordenação falha** entre múltiplas firmas (WILLIAMSON, 1985; SHEFFI, 2015). Em termos de **resposta**, a **latência decisória** importa: quanto menor o tempo entre **deteção–decisão–execução**, maior o valor marginal da autoridade hierárquica. Por isso, integrações “cirúrgicas” em **elos sensíveis ao tempo** (ex.: APIs de produção, logística primária crítica) são, muitas vezes, superiores a integrações amplas e onerosas (CHRISTOPHER, 2016; CHOPRA; MEINDL, 2016).

Os **custos de coordenação** e de **monitoramento** também mudam com a tecnologia. A digitalização e o **EDI/API-first** reduzem assimetrias informacionais e barateiam o controle interorganizacional, deslocando a fronteira **mercado–firma** em favor de **parcerias modulares** com **SLA robusto e telemetria** contínua (COASE, 1937; CHRISTOPHER, 2016). Porém, a **tecnologia não elimina os hazards**: modelos “asset-light” podem **externalizar riscos** que retornam sob crise (ex.: dependência de um único operador logístico global ou de um único *foundry*). O teste de realidade é a **viabilidade da rede**: quão rápido o arranjo pode **rerotear fluxos, substituir materiais e recuperar níveis de serviço** sem colapsar em **efeitos cascata** (IVANOV; DOLGUI, 2020). Se a resposta depende de renegociações lentas, a promessa de eficiência evapora na crise.

No plano de **estoques e buffers**, a integração vertical permite **otimização conjunta** do posicionamento e da magnitude dos estoques estratégicos, reduzindo **duplicações ineficientes e falhas de cobertura**. Em contrapartida, a horizontalização com **dual/triple sourcing qualificado** cria **buffers estruturais**, isto é, **substituibilidade de nós**, que podem ser superiores a grandes estoques quando há **perecibilidade, obsolescência** ou **capital caro** (CHOPRA; MEINDL, 2016; TANG, 2006). Do ponto de vista econômico, compara-se o **custo de carregamento** e o **risco de depreciação** dos estoques internos com o **custo de manter relacionamentos redundantes e capacidade ociosa distribuída**. Em setores de **ciclo longo** (químicos, aeroespacial), estoques estratégicos integrados tendem a dominar; em setores de **ciclo curto** (eletrônicos de consumo), **redundância modular** via horizontalização é frequentemente mais resiliente (SHEFFI, 2015).

A **concentração de risco** é um efeito colateral clássico da integração. Ao internalizar, a firma reduz a exposição ao oportunismo, mas **aumenta a exposição a falhas internas e correlação de riscos** entre unidades (mesmo ERP, mesmas políticas, mesmo fornecedor de energia), podendo criar **single points of failure** sistêmicos (SHEFFI, 2005). Já na horizontal, o **risco de contágio** pode ocorrer por **interdependências ocultas** (mesmos subfornecedores de segundo nível, mesma infraestrutura logística). O desenho de resiliência, portanto, exige **auditoria de multiescalas**, rastreando **níveis 2/3 e infraestruturas comuns**. Somente com essa visibilidade é possível calibrar o **mix ótimo** de integração e modularidade, evitando **falsas diversificações** que colapsam sob o mesmo choque (CHRISTOPHER, 2016; IVANOV; DOLGUI, 2020).

Outra lente indispensável é o **cálculo de opcionalidade**. Arranjos horizontais bem especificados operam como **opções reais**: a firma paga um **prêmio** (custo de relacionamento, qualificação de múltiplos fornecedores, duplicidade de auditorias) para ter o **direito**, e não a obrigação, de realocar fluxo. Em regimes de alta volatilidade, a **opcionalidade positiva** pode superar a **eficiência média** da integração rígida, principalmente quando a **curva de demanda** é imprevisível ou quando **riscos regulatórios** mudam rapidamente (TEECE, 1986; CHOPRA; MEINDL, 2016). O erro recorrente é comparar **custo médio estático** de alternativas, ignorando o valor **assimétrico** da capacidade de escolher **depois** que a incerteza se resolve — exatamente o que determina a **resiliência prática**.

No nível **organizacional**, integração requer **governança** que preserve **descentralização tática** e evite **síndrome do centro único**. A literatura de operações recomenda **S&OP/S&OE** integrados, **torre de controle** com **KPI/KRI** de resiliência (fill rate, OTIF, MTTR, backlog clearing) e **rituais de decisão** que acelerem o ciclo **detectar–decidir–agir** (CHRISTOPHER, 2016; SHEFFI, 2015). Em estruturas verticalizadas, o risco é a **rigidez**; em horizontais, o risco é a **ambiguidade de comando** em crise. O antídoto é combinar **papéis claros** (quem decide o quê, em qual gatilho) com **interfaces padronizadas** e **direitos de escalonamento** explícitos entre parceiros, para que o **comando do incidente** opere sem atrito (ISO 22301, 2019; SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2008).

Por fim, a **análise financeira** precisa refletir **perdas evitadas** e **tempo de recuperação**, não apenas **custo unitário**. A comparação entre integração e horizontalização deve ser feita via **simulação de cenários** e **stress-tests** que estimem **downside protegido** (Value-at-Risk operacional), **elasticidade de capacidade** e **custo de reconfiguração** (CAPEX, lead time de qualificação, treinamento). A decisão ótima raramente é extrema; o que as evidências sugerem é a superioridade de **portfólios híbridos**, com **verticalização seletiva** em nós críticos e **rede horizontal qualificada** para picos e contingências, ancorados em **contratos com gatilhos de crise**, **telemetria compartilhada** e **planos de fallback** previamente ensaiados (SHEFFI, 2015; IVANOV; DOLGUI, 2020).

4. Arquiteturas de rede: modularidade, redundância e isolamento de falhas

A arquitetura de rede determina como os fluxos de materiais, informação e capital percorrem a cadeia e, portanto, como a organização absorve e redistribui choques sem entrar em colapso funcional. Em cadeias altamente acopladas, perturbações locais tendem a se propagar de forma acelerada, gerando efeitos não lineares que ampliam o impacto original; já em arquiteturas **modulares**, com interfaces padronizadas e pontos de desacoplamento (estoques-pulmão, lead times amortecedores, rotas alternativas), o choque pode ser isolado e reencaminhado, preservando níveis mínimos de serviço (IVANOV; DOLGUI, 2020; CHRISTOPHER, 2016). Essa modularidade não é apenas física; ela também é lógica e organizacional, exigindo contratos que codifiquem prioridades, SLAs de contingência e direitos de escalonamento. Em termos de resiliência, a literatura sugere que modularidade **aumenta a viabilidade** do sistema — a capacidade de manter-se operante em estados degradados — ao custo de alguma perda de eficiência em regime estável, um trade-off que precisa ser calculado e governado (IVANOV; DOLGUI, 2020).

A **redundância** é frequentemente tratada como sinônimo de resiliência, mas sua eficácia depende do tipo de redundância e da topologia de rede. Redundância de **capacidade** (linhas paralelas, turnos adicionais) produz amortecimento imediato, porém eleva o custo fixo; redundância de **fornecedores** e **rotas** introduz **diversidade** de caminhos, reduzindo risco de falhas correlacionadas, desde que os alternativos não compartilhem vulnerabilidades ocultas (mesmo subfornecedor de segundo nível, mesma infraestrutura logística, mesma jurisdição regulatória) (SHEFFI, 2005; TANG, 2006). Em muitas indústrias, a “falsa redundância” — dois provedores que na prática dependem do mesmo nó upstream — só é descoberta na crise. Por isso, além de mapear **nós diretos**, é indispensável cartografar interdependências em **múltiplos níveis (tier-2/tier-3)** e avaliar riscos de **falha comum** antes de declarar a rede como efetivamente redundante (CHOPRA; MEINDL, 2016).

O **isolamento de falhas** exige a construção deliberada de **pontos de desacoplamento** (decoupling points), locais em que estoques estratégicos e tempos de espera protegem segmentos a jusante contra variância de suprimento a montante. Esse conceito, clássico em gestão de operações, ganha centralidade na agenda de resiliência: buffers posicionados onde a **elasticidade de demanda** e o **custo de ruptura** são maiores entregam retornos superiores aos estoques distribuídos uniformemente (CHOPRA; MEINDL, 2016). Em paralelo, estratégias de **postponement** (adiar customização e diferenciação para estágios mais próximos do cliente) reduzem variedade prematura e mantêm **opções abertas**, elevando a capacidade de reconfiguração quando um insumo torna-se escasso ou uma rota é interrompida (CHRISTOPHER, 2016). O resultado é uma rede com “freios” engenheirados para controlar a propagação do efeito chicote.

A linguagem de **ciência de redes** fornece instrumentos para diagnosticar vulnerabilidades estruturais: **centralidade de intermediação (betweenness)** identifica gargalos críticos; **k-core** e **coeficiente de clustering** informam sobre coesão e riscos de contágio; análises de **percolação** e

robustez dirigida simulam a perda de nós/arestas em ataques direcionados (IVANOV; DOLGUI, 2020). Redes **scale-free**, embora eficientes, são particularmente sensíveis a falhas nos hubs; redes **mais homogêneas** tendem a perder eficiência média mas apresentam maior tolerância a falhas aleatórias. Em cadeias globais com forte concentração em poucos hubs logísticos, políticas de resiliência devem explicitamente reduzir **betweenness** de nós hiper-críticos, criando **bypass** estruturais e capacidades de **reroteamento** previamente qualificadas (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2008).

A **padronização de interfaces técnicas** (embalagens, paletização, etiquetagem eletrônica, APIs de integração) é um pilar discreto da modularidade, pois transforma substituição em operação **plug-and-play**. Sem padrões, cada comutação entre fornecedor/rota implica requalificações demoradas e ajustes ad hoc que corroem o benefício pretendido da horizontalização (CHRISTOPHER, 2016). Em setores regulados, a **qualificação cruzada** de materiais e processos deve ser feita **antes** da crise, sob protocolos comparáveis aos de um **design for resilience**, com dossiês prontos para submissão e acionamento (CHOPRA; MEINDL, 2016). A modularidade, portanto, não é um desenho abstrato: é codificada em documentos, testes e auditorias.

No nível **geográfico**, a arquitetura deve evitar **colinearidades de risco**: concentrar hubs redundantes em um mesmo corredor climático ou geopolítico invalida a redundância. Mapas de **ameaças naturais**, **infraestrutura crítica** e **regulação** precisam alimentar decisões de **localização** e **alocação** para que a diversidade seja real, e não apenas nominal (SHEFFI, 2015). O mesmo raciocínio vale para **janelas temporais**: redundâncias que dependem de picos sazonais idênticos (colheitas, feriados) podem falhar simultaneamente, pedindo a criação de buffers temporais (estoques antecipados, contratos de opção de capacidade) que distribuam risco no tempo (TANG, 2006).

Arquiteturas modulares se beneficiam de **torres de controle** e **camadas de visibilidade** que agregam dados de S&OP/S&OE, WMS/TMS, MRP/APS e telemetria de transporte em um **painel unificado** de decisão. Sem **visibilidade interorganizacional**, a modularidade não entrega sua promessa, porque decisões de reroteamento e substituição são tomadas às cegas (CHRISTOPHER, 2016). Padrões de dados e **APIs abertas** com governança de segurança (LGPD e equivalentes) permitem que parceiros horizontais compartilhem sinais relevantes (capacidade, lead times, níveis de estoque) sem expor segredos competitivos, elevando a eficácia do isolamento de falhas (ISO 22301, 2019).

Por fim, modularidade e redundância precisam ser **economicamente sustentáveis**. O custo de manter buffers físicos e estruturais deve ser incorporado a um **portfólio de resiliência** que considere **valor em risco operacional**, **tempo para sobreviver (TTS)** e **tempo para recuperar (TTR)**, escolhendo combinações de desenho que **maximizem a margem preservada** sob cenários de choque (SIMCHI-LEVI et al., 2008; SHEFFI, 2015). Em termos práticos, o comitê de resiliência deve periodicamente revisar a arquitetura com **exercícios de mesa** e **simulações** que

testem a eficácia do isolamento de falhas, ajustando padrões, contratos e localização conforme o ambiente externo evolui (IVANOV; DOLGUI, 2020).

5. Métricas e modelos para mensurar a resiliência operacional

Medir resiliência é sair do conforto das métricas de eficiência média e quantificar **perdas evitadas** e **velocidade de recuperação** após choques. O arcabouço do “**triângulo da resiliência**” mede a área entre a linha de desempenho-alvo e a trajetória observada durante/pós-distúrbio: quanto menor a área (queda \times duração), maior a resiliência (SHEFFI, 2015; PONOMAROV; HOLCOMB, 2009). Complementarmente, indicadores como **MTTR** (tempo médio de recuperação), **OTIF** (on-time, in-full), **fill rate**, **backlog clearing time** e **taxa de perda de pedido** oferecem granularidade operacional para monitoramento contínuo. A resiliência, assim, deixa de ser um atributo vago e passa a integrar o painel executivo, com metas e responsabilidades claras (CHRISTOPHER, 2016).

Entre os indicadores preditivos (**KRI**) e de resultado (**KPI**), alguns se destacam. **TTS/TTR** — **Time-to-Survive** e **Time-to-Recover** — conectam desenho de rede e decisões de estoque/capacidade a cenários de ruptura: conhece-se por quanto tempo um nó aguenta com estoques e capacidade atuais e quanto tempo precisa para retornar ao regime (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2008). O **coeficiente de chicote** (variância da ordem/variância da demanda) revela amplificação indesejada; a **variância de lead time** e o **tempo de latência decisória** (detectar-decidir-agir) completam o quadro (CHOPRA; MEINDL, 2016). Em paralelo, **exposição a fornecedor comum** e **centralidade de betweenness** de hubs logísticos devem ser monitoradas como KRIs estruturais (IVANOV; DOLGUI, 2020).

A mensuração robusta requer **experimentos** e **quase-experimentos**. Testes **liga/desliga** por região (blackouts planejados de campanhas, mudanças de política de estoque) e **A/B geográfico** com janelas temporais equivalentes permitem estimar **incrementalidade** de intervenções de resiliência (p. ex., introdução de dual sourcing, reposicionamento de estoque) (SHEFFI, 2015). Em contextos complexos, **simulação de eventos discretos** e **modelos baseados em agentes** reproduzem dinâmicas de fila, variação de lead time e decisões distribuídas, permitindo avaliar cenários de percolação de falhas e calibração de buffers (IVANOV; DOLGUI, 2020). O ponto central é substituir narrativas por **evidência causal**, ainda que aproximada.

Gêmeos digitais (digital twins) de operações críticas ampliam o alcance das simulações: integrando dados de demanda, capacidade, estoques, transportes e parametrizações de política, é possível realizar **stress-tests** de grande escala e identificar **gargalos dinâmicos** que não emergem em planilhas (IVANOV; DOLGUI, 2020). Esses modelos permitem quantificar **elasticidades operacionais** — quanto de aumento de capacidade em um elo específico reduz MTTR em cenários distintos — e guiar investimentos de resiliência para pontos de **maior alavanca** econômica (CHRISTOPHER, 2016). Além disso, facilitam o desenho de **protocolos de contingência** com tempos-alvo realistas.

A medição financeira deve traduzir resiliência em **valor econômico**. Aproximações como **Operational VaR** (valor em risco operacional) e **Expected Shortfall** em métricas de serviço estimam a “cauda” de perdas sob choques; **ROSI**(retorno sobre investimento em segurança/continuidade) pode ser adaptado para investimentos em buffers, redundância e qualificação de fornecedores, comparando **CAPEX/OPEX** com **perda evitada** e **redução de risco** (SHEFFI, 2015). Importa também o **custo de capital empatado** em estoques estratégicos e o efeito no **giro**; por isso, decisões de resiliência devem ser acompanhadas por **políticas de working capital** e **financiamento** que evitem estrangular o caixa (CHOPRA; MEINDL, 2016).

A qualidade da medição depende de **governança de dados**. Sem **dicionários de métricas**, **metodologias de cálculo** e **ciclos de reconciliação** (financeiro ↔ operações), indicadores de resiliência se tornam incomparáveis ao longo do tempo e entre unidades. Em redes horizontais, contratos precisam especificar **campos obrigatórios**, **granularidade** e **latência** de dados compartilhados, sob padrões de **LGPD** e regras de confidencialidade (ISO 22301, 2019). A disciplina de dados é parte da resiliência: sem ela, **tempo de detecção** aumenta e decisões se baseiam em sinais ruidosos (CHRISTOPHER, 2016).

A **avaliação de risco de fornecedores** deve combinar métricas **financeiras** (liquidez, alavancagem), **operacionais**(capacidade, lead time contratual vs. realizado), **qualidade** (ppm, incidentes) e **geopolíticas/ambientais** (exposição a regimes e eventos climáticos). Mapas de risco multi-critério e **heatmaps** por **tier** facilitam priorização de auditorias e planos de desenvolvimento. O erro comum é avaliar apenas **fornecedores diretos**, ignorando **nós críticos** a montante que, por terem baixa visibilidade, concentram risco sistêmico (IVANOV; DOLGUI, 2020; TANG, 2006). Programas de **qualificação cruzada** e **acordos de mutual aid** devem surgir como contrapartida aos riscos mapeados.

Por fim, a resiliência precisa ser incorporada ao **ciclo orçamentário** por meio de **metas e gatilhos**. Metas de **MTTR**, **fill rate em crise** e **tempo de retomada** em cenários de referência devem entrar no **S&OP** como restrições operacionais, não como desejos. **Gatilhos de crise** (limiares de nível de serviço, ruptura em hubs, indicadores macro) devem acionar **playbooks** com decisões preautorizadas (escala de produção, ativação de fornecedores alternativos, remanejamento de estoques), reduzindo **latência decisória** e evitando imprevisto. A medição, nesse sentido, não é fim em si: é o mecanismo que transforma a resiliência em **prática repetível** (SHEFFI, 2015; CHOPRA; MEINDL, 2016).

6. Riscos e *trade-offs* da integração: rigidez, *lock-in*, falhas comuns e governança

A integração, embora sedutora pelos ganhos de coordenação e controle, envolve riscos estruturais que precisam ser dimensionados com rigor. O primeiro é a **rigidez organizacional**: ao internalizar elos e padronizar processos, a firma reduz a variabilidade de execução, mas também diminui a **capacidade de improvisação** quando o ambiente muda rapidamente. Em cenários de ruptura tecnológica ou de demanda não prevista, a arquitetura verticalizada pode **demorar a pivotar**, pois

a reversão de investimentos, a requalificação de linhas e a mudança de rotas internas implicam **custos afundados** e **inércia decisória** maiores do que em arranjos modulares (Williamson, 1985; Christopher, 2016). Essa rigidez torna-se crítica quando as assimetrias de informação sobre o futuro são elevadas, o que recomenda cautela contra **excesso de integração** em domínios de alta incerteza.

O segundo risco é o **lock-in tecnológico e contratual**, típico de setores com forte **especificidade de ativos**. Ao apostar em um desenho vertical com tecnologias proprietárias, a firma captura quase-rendas de coordenação no curto prazo, mas **perde opcionalidade** para adotar padrões emergentes e **interoperar** com parceiros alternativos. A literatura de capacidades dinâmicas recorda que a vantagem no tempo depende da habilidade de **reconfigurar** recursos e rotinas; integrações rígidas reduzem o **espaço de manobra** para recombinações, especialmente quando cláusulas de propriedade intelectual e **cadeias de dependência** tornam a migração custosa (Teece, 1986). Em termos de resiliência, o lock-in deteriora a resposta a choques de **substituibilidade** (insumos escassos, fornecedores sancionados), elevando o **tempo de recuperação**.

O terceiro risco é a **concentração de risco** e a formação inadvertida de **pontos únicos de falha**. Verticalizar elimina dependências externas, mas, se não houver **redundância interna** geográfica e tecnológica, o resultado é apenas **transferir** o risco para dentro da firma, agora **correlacionado** em unidades que compartilham ERP, fornecedores de energia, jurisdição e até cultura organizacional. Eventos de baixa probabilidade e alto impacto — incêndios, enchentes, ciberataques — podem interromper múltiplos elos internos simultaneamente, comprometendo a suposta robustez do desenho (Sheffi, 2005). A mitigação requer **diversificação intrafirma** (sites distintos, tecnologias alternativas), o que reduz parte do ganho econômico estimado na integração inicial.

O quarto risco recai sobre **governança e compliance**. Quanto maior o escopo integrado, maior a responsabilidade sobre **conformidade regulatória** (qualidade, segurança, trabalhista, ambiental, proteção de dados). Em arranjos horizontais, parte desse ônus é distribuído; na verticalização, o **passivo de risco legal** se concentra. Além disso, falhas de **segregação de funções** e conflitos de interesse podem emergir quando elos que antes auditavam uns aos outros tornam-se **unidades irmãs**, exigindo **controles compensatórios** e auditorias independentes para manter integridade de processos (ISO 22301, 2019). Em termos de resiliência reputacional, incidentes integrados tendem a ecoar mais forte no mercado, pois são atribuídos à “casa”.

O quinto risco é **econômico-financeiro**. A integração vertical eleva **CAPEX** e **custo fixo**, alterando a alavancagem operacional e a sensibilidade do **ponto de equilíbrio** a variações de volume. Em ciclos recessivos, estruturas fixas elevadas comprimem margens; em ciclos de expansão, capturam valor — um **perfil de risco** que deve ser compatível com o apetite do conselho. Na horizontal, por sua vez, embora o CAPEX seja distribuído, crescem **custos de coordenação** e **premissas contratuais** que podem não se materializar em crise (Sheffi, 2015; Chopra; Meindl,

2016). Decisões de resiliência precisam, portanto, de **modelagem de cauda** (perdas em cenários adversos) e não apenas de médias históricas.

O sexto risco é **cultural e humano**. Movimentos de integração transformam identidades profissionais e relações de poder, podendo gerar **resistência**, perda de talentos e **silenciamento de sinais fracos** de risco. Em redes horizontais, o risco é a **ambiguidade de comando** na crise; em estruturas verticalizadas, o risco é a **excessiva centralização**, que retarda decisões de campo. A literatura de operações e resiliência enfatiza que **descentralização tática** com **regras claras de escalonamento** melhora a resposta, enquanto a centralização total impõe **latência** (Christopher, 2016). A solução organizacional envolve **rituais de decisão** (S&OP/S&OE), **treinos por cenário** e **AARs** que alimentam melhoria contínua.

O sétimo risco relaciona-se a **antitruste e poder de mercado**. Integrações horizontais e verticais extensas podem atrair **escrutínio regulatório**, especialmente quando alteram significativamente **preços de insumos essenciais** ou **acesso a canais**. A incerteza regulatória cria **risco de execução** e pode limitar a agilidade em momentos críticos. Ao mesmo tempo, há oportunidade: **remédios regulatórios** podem exigir **interoperabilidade**, de fato favorecendo a resiliência sistêmica ao impor padrões abertos que facilitam substituição entre nós (Porter, 1985; Tang, 2006). A estratégia deve equilibrar **eficiência privada** com **estabilidade do ecossistema**.

O oitavo risco é **técnico-operacional: obsolescência acelerada e degradação de produtividade** quando a firma integra elos em tecnologias que perdem tração. O custo de “converter” linhas internas pode superar o de negociar com parceiros atualizados. Por isso, em domínios de **ciclo tecnológico curto**, a recomendação pragmática é **verticalização seletiva** apenas em **bottlenecks** cuja disponibilidade seja crítica e horizontalização **interoperável** no restante, com **opções reais** de migração (Teece, 1986; Christopher, 2016). Em síntese, a resiliência ótima não é a integração máxima, mas o **portfólio** que melhor **protege cauda**, **preserva opcionalidade** e **mantém fôlego financeiro**.

7. Evidências setoriais e estudos de caso comparados

No **setor automotivo**, as últimas décadas evidenciam o pêndulo entre **modularização horizontal** (fornecedores de primeiro nível responsáveis por sistemas completos) e movimentos de **reinternalização** de componentes críticos (eletrônica de potência, baterias, semicondutores). A pandemia e a crise de chips revelaram **fragilidades de single-sourcing** e a dependência de poucos *foundries*; montadoras responderam com **contratos diretos** a montante, **reservas de capacidade** e, em alguns casos, **equity stakes** em fornecedores estratégicos, um híbrido que combina **controle vertical** sobre gargalos com **ecossistemas horizontais** para o restante. A métrica de sucesso não foi custo médio, mas **tempo de retomada** e **mix preservado** em plataformas de maior margem (Sheffi, 2015; Ivanov; Dolgui, 2020).

Na **indústria farmacêutica e de dispositivos médicos**, regulações rígidas e **qualificação de materiais** favorecem **integração vertical** de etapas sensíveis (substâncias ativas, enchimento asséptico, esterilização), enquanto a **logística fria** e a distribuição tendem a arranjos **horizontais certificados**. Durante choques sanitários, organizações com **qualificação cruzada** prévia de **CMOs** e **CDMOs** conseguiram **rerotear produção** mais rapidamente, ao custo de maior sobrecarga regulatória anterior. O aprendizado setorial indica que **postponement regulatório** (dossiês prontos para múltiplos sites) e **padrões de embalagem** interoperáveis elevam resiliência sem sacrificar compliance (ISO 22301, 2019; Christopher, 2016).

Em **alimentos e bebidas**, cadeias frias e sazonais exigem **redundância geográfica** e **buffers temporais**. Produtores verticalizados em originação de insumos agrícolas conseguem **priorizar volume** em safras adversas, mas enfrentam **risco climático concentrado**; redes horizontais de **co-packing** e **copacking flexível** reduziram rupturas em picos de demanda, desde que **especificações** e **rotulagem** fossem padronizadas. A métrica decisiva foi **OTIF em janela de promoção** e **perda evitada** por vencimento, reforçando que a resiliência depende de **combinar** controle vertical sobre **qualidade** com **elasticidade horizontal** na transformação e distribuição (Chopra; Meindl, 2016; Tang, 2006).

No varejo *omnichannel* e **e-commerce**, a resiliência operacional resultou de **arquiteturas modulares: dark stores, microfulfillment** e **parcerias de última milha** que permitiram **rerotear pedidos** entre nós próximos ao consumidor. Integrar verticalmente toda a última milha mostrou-se oneroso e rígido em ambientes com alta volatilidade de demanda; *marketplaces* e **3PLs/4PLs** qualificados forneceram **capacidade elástica**, enquanto estoques **near-customer** reduziram **TTS** e **TTR**. Casos de sucesso compartilharam **torres de controle** com **visibilidade em tempo real** e **SLA** orientado a **backlog clearing** em eventos pico (Christopher, 2016; Sheffi, 2015).

No **setor de energia e O&G**, a verticalização é histórica e faz sentido onde **segurança, integridade e capital intensivo** dominam. Ainda assim, incidentes mostraram que **redundância intrafirma** e **interoperabilidade** entre operadores são vitais: **mutual aid** em emergências, **estoques estratégicos** de equipamentos críticos (BOPs, válvulas) e **contratos de swaps** para logística marítima mitigaram interrupções. A resiliência aqui deriva de **planejamento por cenários, comando do incidente** e **treinos conjuntos**, com métrica de **MTTR** e **produção recuperada** superior ao baseline (ISO 22301, 2019).

Em **semicondutores e eletrônicos**, a **hiperespecialização geográfica** elevou eficiência, mas criou **vulnerabilidade sistêmica**. Firms *fabless* passaram a negociar **capacidade dedicada** e **co-investimentos** a montante, um movimento de **verticalização contratual** sem internalização total. Paralelamente, **designs mais substituíveis** (BOMs com **componentes alternativos qualificados**) e **reengenharia** para múltiplos nós de montagem configuraram uma resposta horizontal. As organizações que mapearam **tiers profundos** e implementaram **gêmeos digitais** das cadeias recuperaram-se mais rápido de *black swans* (Ivanov; Dolgui, 2020).

No **setor público e saúde**, **parcerias horizontais** entre hospitais, distribuidores e governos permitiram **pools de compra** e **alocação dinâmica** de insumos escassos, enquanto **produção vertical** de itens estratégicos por laboratórios oficiais garantiu **mínimo vital** em crises. A governança da rede — regras de **priorização ética**, **transparência de dados** e **interoperabilidade logística** — foi mais determinante que a eficiência média pré-crise. O aprendizado: **resiliência é propriedade de rede**, não apenas da firma, e depende de **confiança** e **protocolos** anteriores à emergência (Christopher, 2016; Sheffi, 2015).

Por fim, **serviços intensivos em TI** mostraram que **resiliência cibernética** e **resiliência física** são inseparáveis. Empresas verticalizadas em infraestrutura própria sofreram com **pontos únicos de falha**; já as que adotaram **multi-cloud** com **arquitetura de failover** e **observabilidade** preservaram **SLA**. O *case* transversal é claro: **padrões abertos**, **redundância geográfica**, **playbooks testados** e **telemetria integrada** constituem o núcleo da resiliência, independentemente do quão vertical ou horizontal é o desenho (ISO 22301, 2019; Christopher, 2016).

8. Roadmap de implementação e governança da resiliência

O ponto de partida é um **diagnóstico de materialidade de risco** que una visão **financeira** (perdas potenciais, alavancagem operacional) e **operacional** (TTS/TTR, gargalos, variância de lead time). Esse diagnóstico deve mapear **ativos críticos**, **dependências entre nós**, **tiers profundos** e **infraestruturas comuns** (energia, TI, transporte), produzindo um **portfólio de riscos** com donos, limites de apetite e cenários de referência. A partir daí, a organização identifica **onde a integração vertical agrega controle relevante** (bottlenecks, qualidade regulatória, priorização de capacidade) e **onde a horizontalização interoperável preserva opcionalidade** a custos menores (Christopher, 2016; Sheffi, 2015).

A segunda etapa é o **desenho de portfólio: verticalização seletiva** nos pontos de **alta especificidade** e **alto impacto sistêmico**, e **arranjos horizontais qualificados** (dual/triple sourcing, consórcios, licenciamento cruzado) no restante. Esse desenho precisa de **padrões técnicos** (embalagem, etiquetagem, EDI/API, qualificação cruzada) que materializem a **modularidade**. O objetivo é criar **buffers estruturais** (substituibilidade de nós) e **buffers físicos** (estoques estrategicamente posicionados) na proporção correta ao perfil de risco (Chopra; Meindl, 2016; Tang, 2006).

A terceira etapa é **contratual**. Contratos com **SLA de contingência**, **gatilhos de crise** e **direitos de escalonamento** devem ser codificados, incluindo **acesso a dados** em tempo adequado para **torres de controle** interorganizacionais. Para fornecedores críticos, considerar **opções reais** (direito de compra de capacidade adicional), **reservas de capacidade** e **mecanismos de gain-sharing** que alinhem incentivos em choque. Ao mesmo tempo, definir **cláusulas de**

interoperabilidade e padrões mínimos que viabilizem **substituição plug-and-play** (Christopher, 2016).

A quarta etapa envolve **capacidade de dados e visibilidade**. Implementar **painéis de resiliência** que consolidem **KPI/KRI** (OTIF, fill rate, MTTR, backlog clearing, centralidades de rede, exposição a fornecedor comum) e alimentem processos **S&OP/S&OE**. **APIs seguras e governança de dados** (dicionário, latência, qualidade) com parceiros horizontais reduzem **assimetria informacional**, acelerando **detecção e ação**. Sem dados confiáveis, decisões de roteamento e substituição ficam reativas e caras (ISO 22301, 2019; Christopher, 2016).

A quinta etapa é **capacitante: treinos por cenário, exercícios de mesa e simulações** (eventos discretos, agentes) para validar playbooks e **calibrar buffers**. Adoção de **gêmeos digitais** para testar **stress-tests** de caudas e estimar **elasticidades operacionais** (quanto MTTR cai quando se adiciona X% de capacidade em Y elo). Esses ensaios devem resultar em **lições aprendidas** incorporadas a **SOPs e checklists vivos**, com **AARs** periódicos (Ivanov; Dolgui, 2020).

A sexta etapa trata de **financiamento e métricas de valor**. Projetos de resiliência precisam de **business cases** com **ROSI** (retorno sobre investimento em segurança/continuidade) e **Operational VaR** para priorizar alocações. Integrar decisões de **estoques estratégicos e redundâncias** ao **planejamento de capital de giro** evita estrangulamentos de caixa. Com **metas de TTS/TTR e limites de perda** por cenário, a organização transforma resiliência em **restrição de projeto**, não em iniciativa voluntarista (Sheffi, 2015).

A sétima etapa é **governança**. Instituir um **comitê de resiliência** transversal (operações, finanças, compras, TI, jurídico, riscos) com **ritmos formais**: mensal para *run-the-business* e trimestral para *change-the-business*. Esse comitê revisa **indicadores, incidentes, planos de mitigação, calibração de portfólio** vertical/horizontal e **aderência a padrões**. Auditorias internas e externas validam **segregação de funções, conformidade e evidências de execução** (ISO 22301, 2019).

A oitava etapa é **ciclo de melhoria contínua**. Mudanças no ambiente — **geopolítica, clima, regulação, tecnologia** — exigem revisões dinâmicas do portfólio de integração. O *roadmap* deve prever **janelas anuais de reavaliação**, com revisão de **mapas de risco, tiers, capacidades alternativas e premissas financeiras**. O objetivo é manter **viabilidade dinâmica** do sistema: capacidade de **absorver, adaptar e evoluir** sem sacrificar **margem e serviço** (Ivanov; Dolgui, 2020; Christopher, 2016).

Conclusão

A análise conduzida ao longo do artigo permite afirmar que **integração vertical e integração horizontal** não são polos antagônicos, mas instrumentos de desenho organizacional que, combinados de forma prudente, ampliam a **resiliência operacional** de cadeias sujeitas a volatilidade, rupturas e mudanças de regime. A verticalização, quando aplicada de modo **cirúrgico** a elos de alta especificidade e risco sistêmico, desloca incerteza contratual para o domínio da

autoridade hierárquica, encurtando latências decisórias e viabilizando **priorização de capacidade** em momentos críticos; a horizontalização, quando baseada em **interoperabilidade e padrões abertos**, cria **buffers estruturais** via substituíbilidade de nós e rotas, reduz a centralidade de gargalos e acelera a recomposição de fluxos. A síntese que emerge é um **portfólio híbrido**, ajustado por setor e perfil de risco, em que a pergunta não é “integrar ou modularizar?”, mas “**onde** integrar para controlar o que não pode falhar, e **como** modularizar para preservar opcionalidade e absorver choques sem colapsar?”. Em termos teóricos, essa posição concilia **economia dos custos de transação** e **visão baseada em recursos** com a engenharia de redes e a literatura de continuidade de negócios (Coase, 1937; Williamson, 1985; Teece, 1986; Christopher, 2016; ISO 22301, 2019).

Do ponto de vista **econômico**, a decisão ótima requer comparar **quase-rendas de coordenação** esperadas com o **valor de opcionalidade** embutido em arranjos menos integrados, reconhecendo que métricas médias em regime estável **subestimam** o custo de cauda em choques. Verticalizar eleva **CAPEX** e alavancagem operacional, o que aumenta a sensibilidade do ponto de equilíbrio a oscilações de volume; horizontalizar reduz **CAPEX** próprio e amplia **opções reais**, mas adiciona **custos de coordenação** e risco de **falhas de alinhamento** sob estresse. A fronteira eficiente desloca-se com a tecnologia (queda de custos de integração de dados e monitoramento), porém **hazards contratuais** e **dependências ocultas** persistem e reemergem em crises, como se observou em semicondutores e logística global. Por isso, o cálculo deve ser feito com **stress-tests** e **análise de cenários** que internalizam **perdas evitadas**, **tempo de recuperação** e **elasticidades operacionais**, em vez de se apoiar apenas em custos unitários históricos (Chopra; Meindl, 2016; Sheffi, 2015; Ivanov; Dolgui, 2020).

No plano **arquitetural**, a resiliência pratica-se como **modularidade com padrões** e **redundância inteligente**. Interfaces técnicas padronizadas (embalagem, etiquetagem eletrônica, APIs de integração) transformam substituição em operação **plug-and-play**, diminuindo tempos de requalificação e a necessidade de renegociação **durante** a crise. A redundância deve ser **heterogênea** para evitar falhas comuns — múltiplos fornecedores qualificados que não compartilhem o mesmo tier upstream ou infraestrutura crítica — e **geograficamente diversificada** para não acumular risco climático ou regulatório. **Pontos de desacoplamento** e **postponement** ampliam o espaço de manobra, permitindo adiar diferenciação até que a incerteza se resolva, enquanto **estoques pulmão** e **rotas alternativas** são dimensionados com base em **TTS/TTR** e impacto no **nível de serviço**. A boa arquitetura não persegue redundância infinita, mas a **redundância suficiente** para reduzir a área do “triângulo da resiliência” sem inviabilizar o negócio (Christopher, 2016; Simchi-Levi; Kaminsky; Simchi-Levi, 2008; Tang, 2006).

Em **governança e decisão**, a integração vertical oferece **clareza de comando** e **uniformidade de padrões**, mas corre o risco da **rigidez**; a horizontal, por sua vez, distribui poder e conhecimento, porém pode sofrer de **ambiguidade de autoridade** em incidentes. O arranjo robusto explicita **regras de escalonamento**, **papéis do comando do incidente** e **gatilhos de crise** que autorizam realocações de capacidade, ativação de fornecedores alternativos e alterações de política de

estoque sem paralisia deliberativa. **S&OP/S&OE** precisam internalizar restrições de resiliência (alvos de **MTTR**, **fill rate em crise**, **backlog clearing**) e operar com **ritmos** que comprimam o ciclo **detectar–decidir–agir**. Em redes horizontais, **acordos de nível de serviço** e **auditorias cruzadas** substituem a disciplina hierárquica, sustentando a execução sob pressão (ISO 22301, 2019; Christopher, 2016; Sheffi, 2015).

No **coração métrico**, a passagem do discurso à prática ocorre quando a organização mede **perdas evitadas** e **velocidade de recuperação**, e não apenas eficiência média. O uso combinado de **MTTR**, **OTIF**, **fill rate**, **TTS/TTR**, **coeficiente de chicote** e **centralidades de rede** fornece sinal operacional e estrutural para calibrar portfólio e investimentos. **Quase-experimentos** e **simulações** — liga/desliga regionais, A/B geográfico, eventos discretos e **gêmeos digitais** — permitem estimar causalmente o efeito de **dual/triple sourcing**, reposicionamento de estoques e mudança de rotas. O **Operational VaR** e o **ROSI** traduzem resiliência em valor econômico, ajudando o conselho a priorizar projetos por **perda evitada** esperada por unidade de capital — um critério mais honesto do que “custo por peça” isolado (Ponomarov; Holcomb, 2009; Sheffi, 2015; Ivanov; Dolgui, 2020).

No vetor **humano e cultural**, a resiliência é um atributo coletivo produzido por **treino**, **disciplina** e **aprendizagem**. Organizações verticalizadas precisam contrabalançar a eficiência de procedimentos com **descentralização tática** para não adicionarem latência em situações de campo; redes horizontais, por sua vez, devem mitigar **zonas cinzentas** com **protocolos de liderança** e **comunicação** previamente combinados. **Exercícios de mesa**, **simulados** e **After Action Reviews** transformam quase-incidentes em **conhecimento codificado**, realimentando **SOPs** e **checklists** vivos. Programas de reconhecimento e **incentivos coerentes** evitam a erosão de padrões sob pressão de metas de curto prazo, mantendo **segurança**, **conformidade** e **continuidade** como prioridades não negociáveis (ISO 22301, 2019; Christopher, 2016).

Tecnologia e dados ampliam, mas não substituem, as escolhas de desenho. **Torres de controle** interorganizacionais, **observabilidade** de ponta a ponta e **APIs seguras** reduzem assimetria informacional e antecipam desvios; **gêmeos digitais** aproximam planejamento de realidade e ajudam a localizar **pontos de alavanca** para investimento. Entretanto, a literatura adverte contra a **tecnolatria**: sensores e dashboards sem **procedimentos associados**, **direitos de decisão** e **responsáveis** definidos criam falsa sensação de controle. O ganho real aparece quando dados são **padronizados**, **tempestivos** e **acionáveis**, e quando as decisões gatilhadas por esses dados estão **preautorizadas**, preservando o tempo de reação necessário para proteger serviço e margem (Christopher, 2016; Ivanov; Dolgui, 2020).

No **domínio regulatório e ético**, integração altera a distribuição de **responsabilidade** e **poder de mercado**, exigindo atenção a **antitruste**, **qualidade**, **trabalho**, **meio ambiente** e **proteção de dados**. Verticalizar concentra **passivo regulatório** e demanda **controles compensatórios** e auditorias independentes; horizontalizar requer **conformidade coletiva**, o que implica padrões mínimos e **mecanismos de enforcement** entre parceiros. Em ambos os casos, a **legitimidade**

social das cadeias — especialmente em setores sensíveis, como saúde e alimentos — depende de transparência sobre **priorização em crise, alocação de escassez e privacidade**, sob marcos como **ISO 22301** e legislações de proteção de dados. Resiliência, nesse sentido, não é apenas eficiência sob choque, mas **responsabilidade ampliada** (ISO 22301, 2019; Tang, 2006).

Como **implicação setorial**, o artigo sugere **receitas contingentes**: em **ciclos longos e regulados** (fármacos, aeroespacial, energia), a **verticalização seletiva** de estágios críticos combinada com **horizontalização qualificada** na logística e transformação secundária tende a dominar; em **ciclos curtos e alta obsolescência** (eletrônicos, moda), **modularidade padronizada, dual sourcing e design para substituíbilidade** oferecem maior proteção; em **varejo e e-commerce**, **estoques near-customer, microfulfillment e parcerias de última milha** compõem a elasticidade necessária. Em todos, as decisões devem respeitar **geodiversificação real** (evitar redundâncias colineares), **tiers mapeados e contratos com gatilhos**, para que a opção de mudar de rota ou fornecedor não seja mera cláusula retórica. O resultado almejado é **redução do triângulo da resiliência** por meio de escolhas coerentes com o apetite de risco e a estrutura de capital (Sheffi, 2015; Christopher, 2016).

Em síntese **normativa**, propomos que organizações formulem um **Regime Operacional de Resiliência (ROR)** composto por cinco pilares: **(i)** portfólio híbrido de integração vertical seletiva e horizontal interoperável; **(ii)** arquitetura modular com padrões e pontos de desacoplamento dimensionados por **TTS/TTR**; **(iii)** governança de comando do incidente com papéis, gatilhos e direitos de decisão predefinidos; **(iv)** métrica econômica e operacional integrada a **S&OP/S&OE** e ao ciclo orçamentário, com **ROSI e Operational VaR**; **(v)** disciplina de dados, tecnologia e cultura orientadas a **detecção rápida, execução confiável e aprendizagem contínua**. Tal regime torna a resiliência **propriedade de sistema**, e não atributo ocasional de heróis, e alinha decisões de desenho organizacional às literaturas de **TCE, RBV, engenharia de redes e continuidade de negócios** (Williamson, 1985; Teece, 1986; Ivanov; Dolgui, 2020; ISO 22301, 2019).

Finalmente, no plano **agenda de pesquisa e prática**, destacam-se três frentes: **(a)** métodos padronizados para valorar **opções reais** de horizontalização frente a quase-rendas de coordenação de verticalização, com dados de campo; **(b)** integração de **modelos de percolação e gêmeos digitais** às rotinas de **S&OP**, fechando o loop entre simulação e decisão; **(c)** métricas de **impacto sistêmico** que transcendam a firma e quantifiquem **resiliência de ecossistemas**, inclusive efeitos distributivos e reputacionais. A contribuição deste trabalho é oferecer um **quadro integrador**, pragmático e teoricamente informado, para que conselhos e equipes executivas substituam binarismos por **designs contingentes**, sustentados por métricas e governança. Ao traduzir escolhas de integração em **valor preservado, tempo de retomada e capacidade de evoluir** após a crise, a resiliência deixa de ser retórica e se converte em **vantagem competitiva repetível** (Sheffi, 2015; Christopher, 2016; Ivanov; Dolgui, 2020).

Referências (até 2021)

CHANDLER, A. D. *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1977.

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.

COASE, R. H. The Nature of the Firm. *Economica*, v. 4, n. 16, p. 386–405, 1937.

HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot: Ashgate, 2006.

ISO. *ISO 22301:2019 — Security and resilience — Business continuity management systems — Requirements*. Genebra: International Organization for Standardization, 2019.

ISO. *ISO 28000:2007 — Specification for security management systems for the supply chain*. Genebra: International Organization for Standardization, 2007.

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.

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.

PORTER, M. E. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press, 1985.

RITCHIE, B.; ZSIDISIN, G. A. (org.). *Supply Chain Risk: A Handbook of Assessment, Management, and Performance*. New York: Springer, 2009.

SHEFFI, Y. *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.

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.

TANG, C. S. Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, v. 103, p. 451–488, 2006.



TEECE, D. J. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research Policy*, v. 15, n. 6, p. 285–305, 1986.

WILLIAMSON, O. E. *The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting*. New York: Free Press, 1985.

ZHANG, D.; SIMCHI-LEVI, D. Quantifying the bullwhip effect in a multiple-echelon supply chain. *Operations Research*, v. 58, n. 2, p. 454–470, 2010.