

Modelos de Equações Estruturais (MEE) no Estudo das Relações da Transformação Digital em Cadeias de Suprimentos

ROGERIO DE OLIVEIRA

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE (MACKENZIE)

PAULO SERGIO ALTMAN FERREIRA

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE (MACKENZIE)

Agradecimento à órgão de fomento:

Agradecemos ao MackPesquisa pelo apoio neste trabalho.

MODELOS DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (MEE) NO ESTUDO DAS RELAÇÕES DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

1. INTRODUÇÃO

A transformação digital (TD) tem um impacto significativo nas cadeias de suprimentos (CS), mas as maneiras pelas quais as empresas podem se beneficiar dessas tecnologias ainda não são completamente claras. A construção de modelos teóricos é uma alternativa para o entendimento de como a TD afeta as CS. Dentre os possíveis modelos, os modelos de equações estruturais (MEE) têm uma série de aplicações e são adequados para análises de relações complexas e que envolvem várias variáveis latentes (não observáveis) e manifestas (observáveis).

Este estudo faz uma revisão da literatura do uso de MEE na análise das relações TD-CS. São investigados o escopo dos trabalhos (respondentes, região, segmento da CS), a estrutura geral dos modelos (dependência direta e indireta de construtos, variáveis moderadores e de controle) e os métodos de estimação empregados (baseados em variância ou covariância). O foco maior é dado para as relações TD→CS que buscam entender os efeitos da TD sobre as CS. A partir dessa revisão e a indicação das abordagens mais empregadas na literatura, este estudo buscando contribuir para a construção de novos de modelos e reduzir a lacuna de modelos teóricos para as relações TD-CS no âmbito nacional.

O restante do estudo está organizado do seguinte modo. A seguir são apresentados alguns conceitos sobre TD, CS e MEE relevantes para este trabalho. Discute-se o impacto da TD sobre CS e as vantagens de uma abordagem através MEE para o estudo das relações TD-CS. A seção de metodologia apresenta os métodos da revisão bibliográfica, como fontes, filtros e exclusões realizadas. A seção de análise e resultados, apresenta a análise dos modelos de 18 trabalhos selecionados. Pontos relevantes das abordagens investigadas são apresentados na seção de discussão seguindo-se a conclusão do estudo.

1.1 Transformação digital e cadeia de suprimentos

A TD vem trazendo um forte impacto na vida das pessoas, nas organizações e nos negócios. Particularmente na CS ela traz mudanças profundas tanto na forma de gerenciamento como operação e é o caminho para se obter novos níveis operacionais excelência (BOWERSOX, *et al.*, 2005), incluindo melhor desempenho, maior resiliência e sustentabilidade.

A TD é fundamentalmente uma transformação de negócios baseada em tecnologias emergentes e que difere de outras transformações de negócio por seu crescimento e ganhos exponenciais. Diante do uso disseminado e dos diferentes usos do termo TD, Gong e Ribiere (2021) propõem uma definição de TD baseada em uma ampla revisão da literatura e bastante útil para nossos propósitos:

“um processo de mudança fundamental, possibilitado pelo uso inovador de tecnologias digitais acompanhado pela alavancagem estratégica de recursos e capacidades chave, com o objetivo de melhorar radicalmente uma entidade-alvo e redefinir sua proposta de valor para seus stakeholders” (GONG, C.; RIBIERE, V., 2021)

A entidade-alvo pode ser organizacional, industrial ou social e essa definição ajuda a eliminar uma série de confusões geralmente associadas a TD. Assim, a TD deve ser entendida como um processo, o que envolve não somente tecnologias como também capacidades e aspectos organizacionais. Desse modo, modelos que pretendem analisar efeitos da TD precisam envolver não só tecnologias, mas construtos latentes (não observáveis) que refletem como as tecnologias são potencializadas e organizadas. Isso torna os modelos, em geral, mais diversos e complexos.

Gong e Ribiere (2021) destacam ainda as diferenças entre TD e Digitalização. Enquanto a digitalização é um processo de melhoria contínua, isto é, a implantação de novas tecnologias digitais trazendo ganhos de eficiência e competitividade, a TD é um processo disruptivo, em geral com um intervalo de tempo menor e que leva a uma mudança fundamental de estruturas, processos, operações, estratégias e mentalidade. Ela não é, portanto, um processo gradual (contínuo) ou confortável, do qual necessariamente resulta a melhorias imediatas ou ganho de valor.

Esse é outro aspecto importante a ser levado em consideração na definição dos modelos envolvendo a TD. Seu aspecto, mais ou menos disruptivo, pode evoluir ao longo do tempo e depende do nível de maturidade de uso das tecnologias pela organização. Nessa evolução muitas tecnologias passam a fazer parte do processo de digitalização, como um processo de melhoria contínua, e deixam de fazer parte das tecnologias transformadoras. Os modelos podem assim diferir de uma para outra entidade-alvo, e mesmo para a mesma organização em momentos diferentes. Isso reforça a necessidade e o interesse de modelos próprios e atualizados, por exemplo, para a indústria nacional.

Outro aspecto a ser considerado é que as tendências tecnológicas não operam independentemente umas das outras, mas se complementam e se reforçam (PANETTA, 2020). Assim, é necessário que os modelos representem essas relações e, não se pode falar em internet das coisas (IoT) ou *blockchain*, sem pensarmos em tecnologias de armazenamento e análise de dados (*big data analytics*), ou de inteligência artificial associadas.

Não obstante o caráter mais ou menos disruptivo, os níveis de maturidade, as variações ao longo do tempo ou seu aspecto mais físico ou digital, há algumas tecnologias que aparecem mais frequentes na literatura como tecnologias que, a depender do seguimento, são candidatas a tecnologias de transformação. Ivanov e Dolgui (2020) e Queiroz, *et al.* (2020), apontam algumas dessas tecnologias transformadoras para as CS (TABELA 1).

TABELA 1 – Principais tecnologias com impacto nas CS.

Internet das coisas (IoT)	<i>Big data analytics</i>	Sistemas de Simulação	<i>Blockchain</i>
Sistemas Ciberfísicos (robótica)	Computação em Nuvem	Manufatura em Nuvem	Tecnologias de Gêmeos Digitais
Comunicação Máquina-Máquina	Inteligência Artificial	Manufatura Aditiva/Impressão 3D	Modelos Largos de Linguagem

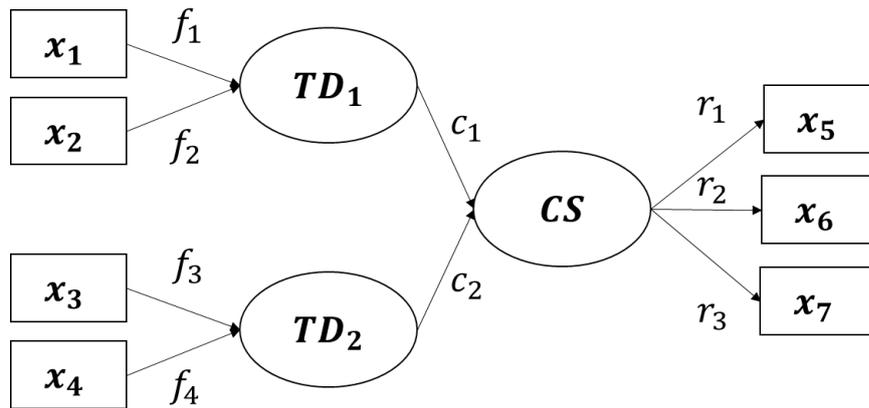
Fonte: Adaptado de Ivanov e Dolgui (2020) e Queiroz, *et al.* (2020), e incluído pelos autores os recentes modelos largos de linguagem.

1.2 Modelos de equações estruturais

MEE são uma técnica de modelagem estatística multivariada de caráter geral amplamente utilizada nas ciências humanas e sociais, e cada vez mais empregada no campo da

administração, gestão e marketing. Trata-se de uma combinação e ampliação da análise fatorial e técnicas de regressão com análise de trajetórias, e os modelos podem ser representados por um diagrama de caminhos (FIGURA 1).

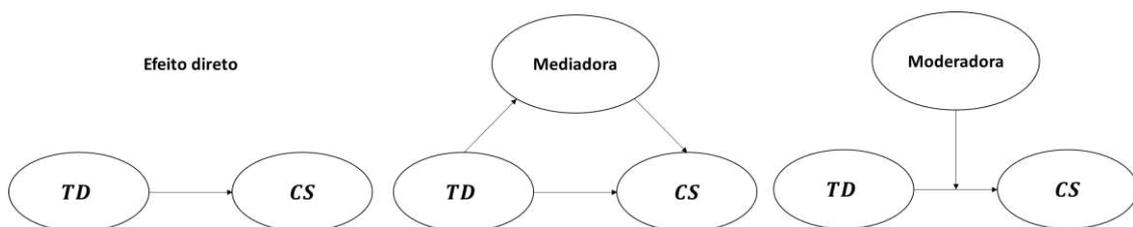
FIGURA 1 – Diagrama geral de caminhos para um MEE modelando uma relação do tipo TD→CS. TD_{1-2} e CS representam os construtos latentes, respectivamente independentes e dependente; x_{1-7} as variáveis observáveis; c_1 e c_2 são os coeficientes de relação entre os construtos latentes; e f_{1-4} e r_{1-3} representam os coeficientes para as mensurações, com f formativos e r reflexivos.



Fonte: Adaptado de Hair, Ringle e Sarstedt (2011) para o contexto de relações do tipo TD → CS.

O comportamento de causa-efeito entre uma variável independente e uma ou mais dependentes ainda pode ser modelado como tendo um efeito direto, com a inclusão de variáveis mediadoras (indireto), ou ainda variáveis moderadoras (FIGURA 2). Uma variável mediadora reduz a magnitude do relacionamento entre a variável independente e uma variável dependente (VIEIRA, 2009) e podendo estar presente ou não presente o efeito direto. Com uma variável moderadora o interesse está em segmentar o modelo para diferentes grupos pré-estabelecidos, como por segmento de indústria ou tamanho, de acordo com a variável moderadora (VIEIRA, 2009).

FIGURA 2 – Diagramas mostrando a representação de modelos de causa-efeito TD→CS direto, com variável mediadora e moderadora.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Modelos teóricos podem ser construídos e testados a partir dos construtos latentes em que as relações entre as construções teóricas são representadas por coeficientes de regressão, ou coeficientes dos caminhos, entre variáveis observadas e/ou latentes como mostrado nos diagramas anteriores. O MEE implica uma estrutura para as covariâncias entre as variáveis observadas. Nesses modelos, a variância explicada na variável ou variáveis dependentes inclui efeitos diretos e indiretos, sendo mais explicativo que modelos de regressão múltipla. Mais detalhes da teoria geral e do uso desses modelos podem ser encontrados em Kline (2011), Bollen (1989) e Marôco (2014).

Os dados para os modelos são, em geral, obtidos a partir de questionários e entrevistas, sendo o tamanho mínimo da amostra (respondentes) determinado pela complexidade do modelo (número de construtos e hipóteses, ou caminhos do modelo).

Na análise das relações entre muitos elementos, MEE fornecem uma abordagem que produz resultados bastante confiáveis. Segundo Marôco (2014), MEE apresentam algumas vantagens com relação a outros métodos clássicos de análise: i.) permitem estimar construtos latentes usando dados observáveis; ii.) proporcionam uma avaliação adequada da imprecisão da medição, levando em conta os erros de medição; iii.) permitem testar o ajustamento global do modelo numa generalização teórica que unifica vários métodos de análise multivariada, como a regressão linear, MANOVA etc. Adicionalmente, há grande número de opções de software disponíveis (STATA, SAS, SPSS, LISREL e pacotes de R e Python) para acesso ao uso desses modelos.

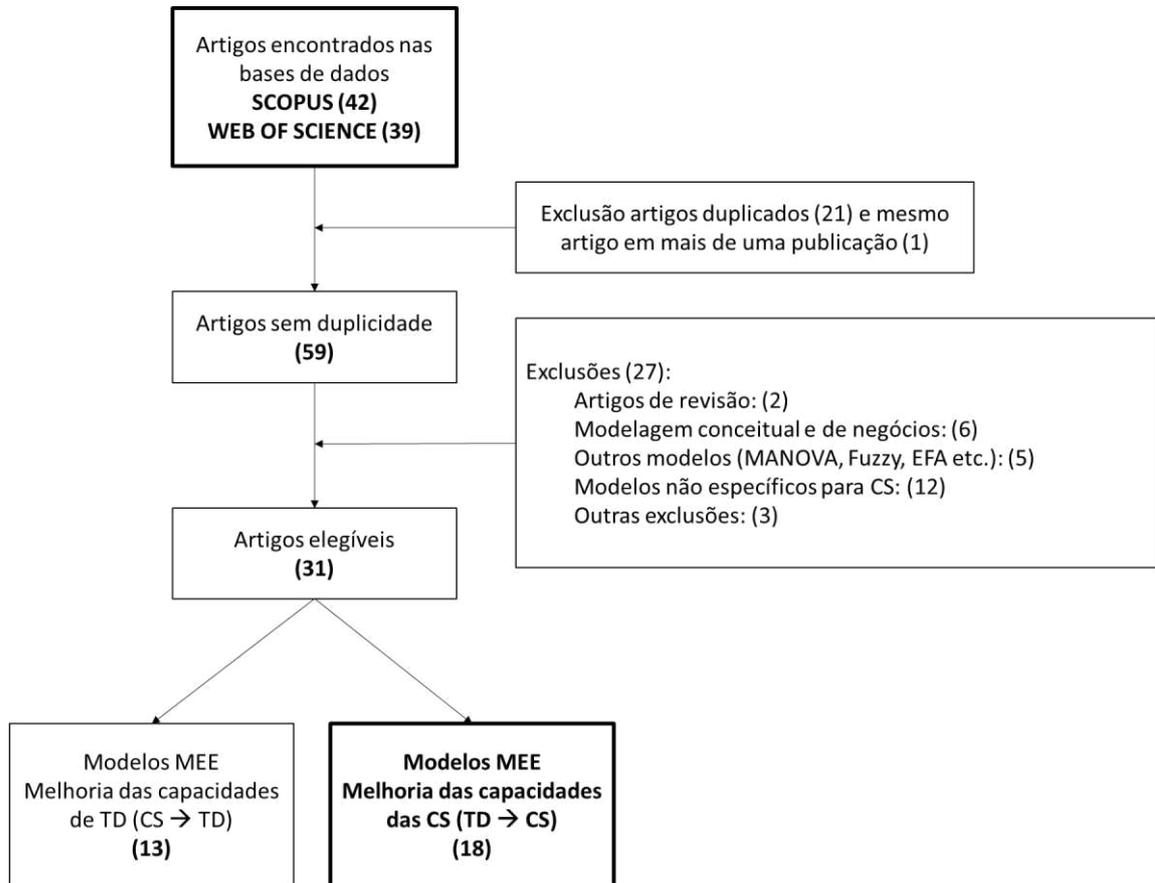
MEE são, assim, ideais para modelar as ligações complexas e as várias hipóteses entre as capacidades e os aspectos organizacionais da TD e das CS em diferentes organizações.

2. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado a partir de consultas às bases de dados Scopus e Web of Science realizadas a partir de abril de 2023. A busca principal foi por artigos que modelassem o impacto da TD nas capacidades das CS (TD→CS) a partir de MEE. Desse modo, parte-se da seguinte busca de palavras-chave nas bases de dados: "digital transformation" AND "supply chain" AND ("constructs" OR "SEM" OR "Structural Model"), obtendo-se 81 documentos iniciais. Após a eliminação de duplicidades, artigos de revisão, outros modelos que não MEE, esse número foi reduzido para 31 artigos elegíveis (FIGURA 3). Esses artigos foram então divididos entre artigos que modelavam os efeitos das capacidades das CS e outros fatores na adoção da TD (CS→TD, 13 artigos) e aqueles, de interesse para este estudo, que modelavam o impacto da TD nas capacidades das CS (TD→CS, 18 artigos). Para esses artigos são investigados, o escopo dos trabalhos, a estrutura geral dos modelos e os métodos de estimação empregados. Com base nos resultados da análise desses artigos discute-se práticas mais comuns e possíveis abordagens para a construção de novos modelos.

Precede a análise dos artigos um levantamento exploratório do número de publicações a fim de confirmar o crescente interesse no estudo no uso de novas tecnologias na CS e das relações TD-CS.

FIGURA 3 – Fluxograma de capacitação dos estudos analisados.



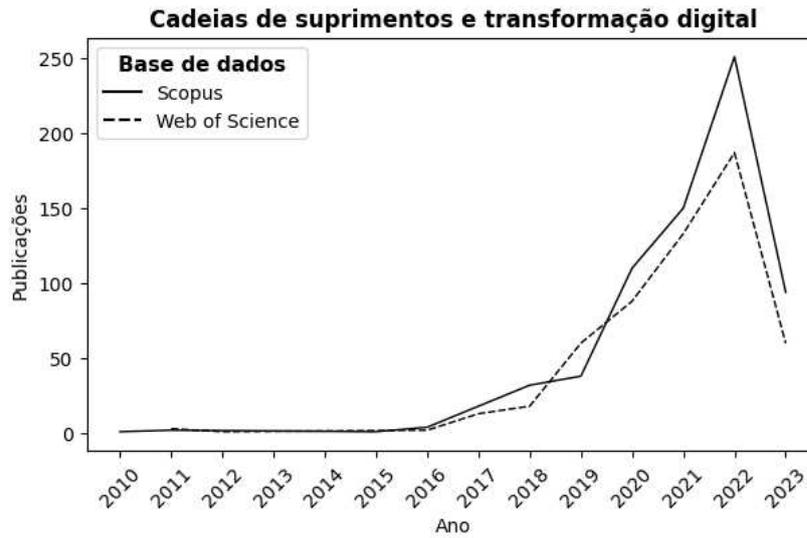
Fonte: Elaborado pelos autores.

3. ANÁLISE E RESULTADOS

O levantamento preliminar do número de publicações (palavras-chave: "digital transformation" AND "supply chain") mostra o crescente interesse nos estudos que envolvem TD-CS, tendo sido acentuado nos últimos, em particular com o surgimento da pandemia de COVID-19 cujos efeitos sobre as CS globais são conhecidos e objeto de inúmeros trabalhos (FIGURA 4), e para as palavras-chave: "COVID" AND "supply chain" encontramos 5009 artigos na base Scopus, e 3463 na Web of Science. A mesma tendência pode ser observada nos estudos que envolvem a adoção de novas tecnologias nas CS, particularmente as tecnologias de *blockchain*, inteligência artificial, *big data* e internet das coisas (FIGURA 5).

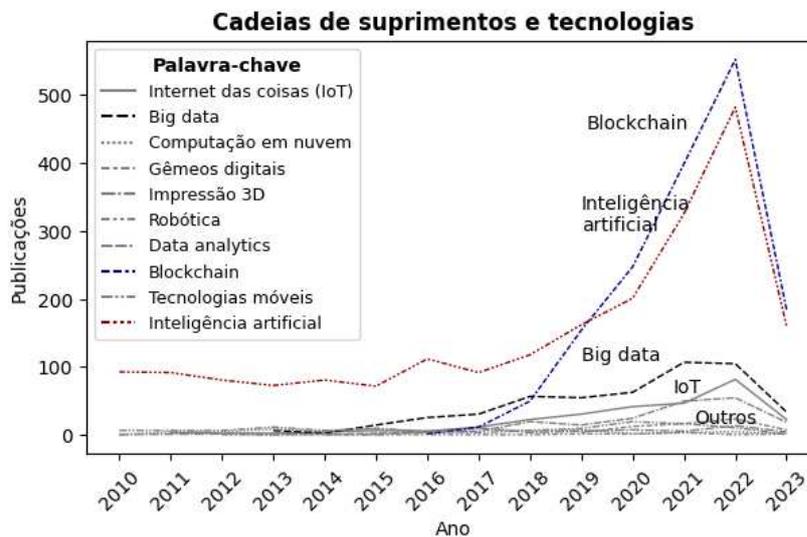
Os estudos envolvendo MEE na análise das relações TD-CS, embora crescentes, não apresentam o mesmo crescimento exponencial. Foram apenas 32 artigos elegíveis neste estudo (ver FIGURA 3). Destes, 16 foram publicados em 2023, 11 em 2022, 4 em 2021 e apenas 1 em 2020. Não obstante isso, como vimos, MEE são instrumentos poderosos de análise e podemos ver crescer o seu uso à medida que cresce o interesse geral das relações TD-CS.

FIGURA 4 – Evolução das publicações de artigos envolvendo CS e TD.



Fonte: Elaborado pelos autores.

FIGURA 4 – Evolução da publicação de artigos envolvendo CS e novas tecnologias.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A seguir são realizadas as análises dos 18 artigos selecionados que modelam os efeitos da TD nas capacidades das CS, TD→CS, sobre 3 principais aspectos: escopo, estrutura geral dos modelos e método de estimação empregado.

3.1 Escopo

Analisa-se aqui o tipo de variável dependente final e a abrangência de aplicação do modelo (número de respondentes da pesquisa, região e segmento). A TABELA 2, sumariza os resultados dessa parte da análise.

Dos 18 artigos encontrados a maior parte tem o escopo limitado a uma única região e predomina o segmento de manufaturas. Destaca-se a presença de regiões de países como Marrocos, Índia em detrimento de grandes economias como Estados Unidos, países da Europa ou mesmo o Brasil. A maior parte dos estudos tem como variável dependente final (objetivo) o desempenho de uma capacidade própria da CS, sendo desempenho, resiliência e sustentabilidade as capacidades mais comuns. Nos estudos em que o campo objetivo aparece “Negócio” essas capacidades referem-se à entidade-alvo em geral, e não somente a sua CS. A quantidade de respondentes respeita e supera bastante a quantidade mínima de amostras, exceto em Al-Khatib (2023). Todos os estudos são acompanhados de uma análise descritiva das amostras com dados como idade, gênero, nível de experiência e educação, área de atuação dos respondentes. Testes de normalidade da distribuição dos dados são aplicados com um requisito para os estudos que empregam a covariância como método de estimação.

TABELA 2 – Sumário dos artigos com relação ao escopo dos modelos.

Artigo	Variável Dependente Final				Respondentes	Região	Segmento
	Objetivo	Desempenho	Resiliência/ Sustentabilidade	Outras			
Nureen, <i>et al.</i> (2023)	Negócio	●			550	China	Manufatura
Al-Khatib (2023a)	Negócio	●			14	Jordânia	Farmacêutica
Oubrahim, <i>et al.</i> (2023)	CS		●		134	Marrocos	Diversos
Yu, <i>et al.</i> (2023)	Negócio	●			307	China	Manufatura
Kumar e Kumar (2023)	CS	●			119	Índia	Alimentos
AL-Khatib (2023b)	Negócio	●			327	Jordânia	Manufatura
Maalmi, <i>et al.</i> (2023)	CS		●	[1]	99	Marrocos	Diversos
Manikas, <i>et al.</i> (2022)	CS		●		128	Emirados Árabes	Diversos
Nayal, <i>et al.</i> (2022)	CS		●		361	Índia	Automotiva
Alabdali e Salam (2022)	Negócio			[2]	221	Vários países	Diversos
Khan, <i>et al.</i> (2022)	CS			[3]	313	Paquistão	Diversos
Lang, <i>et al.</i> (2023)	Negócio	●			371	Vietnã	Diversos
Behl, <i>et al.</i> (2022)	CS	●			342	Vários países	Varejo
Belhadi, <i>et al.</i> (2021)	CS	●	●		279	Vários países	Diversos
Maalmi, <i>et al.</i> (2021)	CS		●	[1]	99	Marrocos	Diversos
Saryatmo e Sukhotu (2021)	Negócio	●			209	Indonésia	Alimentos
Tan, <i>et al.</i> (2023)	CS	●			71	Malásia	Semicondutores
Baral, <i>et al.</i> (2021)	CS		●		278	Índia	Diversos
		10	7	4			

[1] = Inovação
[2] = Competitiva
[3] = Transparência e rastreabilidade

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Estrutura geral dos modelos

Apresenta-se estrutura geral dos modelos, isto é, suas características em termos da quantidade de construtos e hipóteses empregadas, a presença de variáveis de controle e, principalmente, o tipo de papel que assume a variável (ou variáveis) independentes associadas à TD (direto, indireto e/ou mediadora). O sumário desses resultados encontra-se na TABELA 3.

A maior parte dos estudos selecionados apresenta modelos em que as variáveis de TD tem um papel indireto sobre a variável objetivo final (13 estudos). Neste caso, em geral, a variável de

TD é mediada por uma variável latente relacionada a alguma capacidade da CS, como é o caso de Oubrahim, *et al.* (2023) e AL-Khatib (2023) que empregam respectivamente a integração e inovação das CS como variável mediadora. Em sua maioria os modelos são de baixa dimensionalidade, com número médio de construtos e hipóteses 5.4 e 6.1 respectivamente. Há ainda modelos bastante simples, como os propostos por Oubrahim, *et al.* (2023), e Alabdali e Salam (2022) com apenas 3 construtos.

TABELA 3 – Sumário dos artigos com relação a estrutura geral dos modelos.

Artigo	Número de Construtos	Número de Hipóteses	Papel da Variável Independente TD			Variáveis de Controle	Variáveis Moderadoras
			Direto	Indireto	Mediadora		
Nureen, <i>et al.</i> (2023)	5	6			•		[4]
Al-Khatib (2023a)	5	4		•			
Oubrahim, <i>et al.</i> (2023)	3	3	•	•			
Yu, <i>et al.</i> (2023)	5	8		•		[1]	
Kumar e Kumar (2023)	6	5(9)			•		
AL-Khatib (2023b)	4	5	•	•			
Maalmi, <i>et al.</i> (2023)	10	14	•	•			[5]
Manikas, <i>et al.</i> (2022)	6	9		•			
Nayal, <i>et al.</i> (2022)	5	6		•			
Alabdali e Salam (2022)	3	3	•	•			
Khan, <i>et al.</i> (2022)	5	4		•			
Lang, <i>et al.</i> (2023)	6	6(13)	•	•	•		
Behl, <i>et al.</i> (2022)	8	7(11)			•	[2]	
Belhadi, <i>et al.</i> (2021)	5	5(9)	•	•		[3]	[6]
Maalmi, <i>et al.</i> (2021)	10	16	•	•			
Saryatmo e Sukhotu (2021)	4	3	•				
Tan, <i>et al.</i> (2023)	6	9		•			
Baral, <i>et al.</i> (2021)	7	6	•				
			9	13	4		

[1] = Idade e tamanho da organização, tipo de indústria
 [2] = Idade da organização, tipo de indústria, intensidade tecnológica
 [3] = Tamanho da organização, tipo de indústria, geografia

[4] = Capacidade de colaboração, mas não em caminho direto de construto TD
 [5] = Agilidade da CS, mas não em caminho direto de construto TD
 [6] = Agilidade da CS, no caminho do construto de TD

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como argumentamos na introdução deste estudo, as capacidades e habilidades, que potencializam o uso tecnologias, assumem um papel mais importante nos modelos através dos construtos latentes que as tecnologias em si, residindo aí o poder desses modelos avaliarem diferentes estratégias na busca dos benefícios de uso da tecnologia.

O número de trabalhos que empregam variáveis moderadoras ou variáveis de controle é pequeno, predominando as relações de moderação. Apenas no trabalho de Belhadi, *et al.* (2021) a variável moderadora encontra-se no caminho da variável de TD e, portanto, tem algum efeito sobre ela.

3.3 Métodos de estimação

São dois os principais métodos de estimação dos MEE (HAIR, *et al.*, 2017): 1. o método baseado em covariância de fatores (CF-MEE) ou, para usar o acrônimo em inglês mais empregado, CB-SEM (*covariance-based structural equation modelling*); e, 2. o método de mínimos quadrados parciais baseados em variância (MQP-MEE) ou, do mesmo modo que antes, PLS-SEM (*partial least squares structural equation modelling*). Entender as diferenças entre esses dois métodos e qual empregar é um fator importante na construção de qualquer MEE. Para nossos propósitos é suficiente entender que estimação por covariância, CF-MEE,

deve ser empregada principalmente para confirmação de uma teoria estabelecida, enquanto, a abordagem de variância, MQP-MEE, é orientada à predição e se aplica principalmente para pesquisa exploratória, embora possa ser também aplicada à pesquisa confirmatória. Hair, *et al.* (2017) fornece um guia detalhado para escolha dessas abordagens em cada caso.

Nos 18 trabalhos selecionados, a maior parte (10) emprega o método de mensuração de mínimos quadrados (MQP-MEE), 7 empregam o método de covariância (CF-MEE) e um único trabalho, Maalmi, *et al.* (2023), faz um comparativo das duas abordagens de mensuração. Nenhum dos estudos avaliados emprega um método menos comum, o método de entropia máxima generalizada, proposto por Al-Nasser (2003) para pequenas amostras (TABELA 3).

TABELA 3 – Sumário dos artigos com relação ao método de estimação.

Artigo	Método de Estimação		
	Covariância dos Fatores	Mínimos Quadrados Parciais	Outros Métodos empregados
	CF-MEE (CB-SEM)	MQP-MEE (PLS-SEM)	
Nureen, <i>et al.</i> (2023)	•		AEF; ACF
Al-Khatib (2023a)	•		ACF
Oubrahim, <i>et al.</i> (2023)		•	ACF
Yu, <i>et al.</i> (2023)	•		ACF
Kumar e Kumar (2023)	•		AEF; ACF
Al-Khatib (2023b)		•	-
Maalmi, <i>et al.</i> (2023)	•	•	-
Manikas, <i>et al.</i> (2022)		•	-
Nayal, <i>et al.</i> (2022)			AEF; ACF
Alabdali e Salam (2022)		•	-
Khan, <i>et al.</i> (2022)		•	-
Lang, <i>et al.</i> (2023)	•		AEF; ACF
Behl, <i>et al.</i> (2022)		•	-
Belhadi, <i>et al.</i> (2021)	•		ACF
Maalmi, <i>et al.</i> (2021)		•	-
Saryatmo e Sukhotu (2021)		•	-
Tan, <i>et al.</i> (2023)		•	-
Baral, <i>et al.</i> (2021)	•		AEF; ACF
	7	10	

AEF = Análise Exploratória de Fatores
ACF = Análise Confirmatória de Fatores

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dadas as características dos trabalhos, aqueles que empregam CF-MEE para estimação são acompanhados de análises complementares como a análise exploratória e confirmatória de fatores (AEF e ACF).

Na maior parte dos artigos, entretanto, a justificativa para escolha de um ou outro método de estimação vai da ausência justificativas – como em Tan, *et al.* (2023), que se limita citar o pacote de software –, até justificativas genéricas como, por exemplo, Al-Khatib (2023), que se limita a justificar o emprego do método baseado em covariância com “(...) é um dos métodos mais usados nos estudos atuais para testar relações hipotéticas”. Há, entretanto, exceções como em Saryatmo e Sukhotu (2021), que dedicam todo um parágrafo para justificar o modelo de estimação.

4. DISCUSSÃO

Apesar do número de estudos envolvendo as relações TD-CS através de MEE ser ainda ser modesto, o crescente interesse nos efeitos da TD sobre as CS, como mostra a análise exploratória inicial da seção anterior, sugerem que modelos teóricos que possam inferir a causalidade TD-CS, como os MEE, sejam cada vez mais explorados como importantes instrumentos para orientar a tomada de decisões estratégicas nas organizações.

Os resultados na seção anterior fornecem, sobre os 18 artigos selecionados nesta revisão, referências sobre as práticas mais empregadas na construção de MEE no estudo das relações TD-CS. Particularmente mostra que modelos bastante simples, com 4-6 construtos, 5-7 hipóteses e predominância de relações diretas e com mediação, permite a construção de modelos suficientes e úteis. A especificidade dos modelos (região, segmento e construtos de cada modelo) se justificam pela dinâmica de evolução da TD como argumentamos, e reforça a necessidade e o interesse de modelos específicos para uma necessidade e constantemente atualizados.

O método de estimação baseado em variância, mostrou ser o mais empregado, e parece ser mais flexível e robusto sobre vários aspectos. Ao menos 4 vantagens de uso do MQP-MEE (PLS-SEM) sugerem este método como a primeira alternativa na construção de um MEE em vários casos (HAIR, *et al.*, 2017): i.) requer um menor do número amostras, 40-100, enquanto modelos baseados em covariância requerem >200; ii.) não exigem uma distribuição normal das amostras; iii.) permite construtos com medição formativa no modelo; e, iv.) possibilita que os escores das variáveis latentes sejam empregados para análise subsequente. De qualquer modo, recomenda-se não fazer uso do método de forma generalizada e arbitrária (HAIR, *et al.*, 2011), e a justificativa de escolha de um ou outro método, uma boa prática a ser seguida.

Destacamos como limitações deste estudo o pequeno número final de trabalhos analisados e importância da análise de outros aspectos dos modelos (número de variáveis observáveis, outras categorizações de estrutura dos modelos, coeficientes obtidos em cada caso etc.). Pretende-se sanar essas limitações em trabalhos futuros, incluindo modelos CS→TD (facilitadores para adoção da TD) e que consideram tecnologias específicas, havendo neste caso um número bastante maior de artigos a serem analisados.

5. CONCLUSÃO

Este estudo argumenta sobre a necessidade de se modelar as relações TD-CS, com ênfase nos efeitos da transformação digital, dado seu crescimento exponencial e do constante surgimento de novas tecnologias. Os MEE são instrumentos robustos e adequados para essa tarefa por uma série de fatores, como a modelagem de variáveis latentes e observáveis, e por uma avaliação adequada da imprecisão de medida. A revisão dos trabalhos que envolve a construção de MEE para modelar as relações TD-CS, e em particular os efeitos da TD sobre as CS, TD→CS, contribui para fornecer um panorama dos estudos já realizados e serve de referência de práticas úteis para a construção de novos modelos. Trabalhos futuros devem ampliar o escopo desse estudo incluindo análise de fatores que impulsionam a adoção da TD (CS→TD) e de novas tecnologias nas CS e, a partir disso, construir-se modelos específicos para segmentos da indústria nacional (energia e alimentos).

REFERÊNCIAS

ALABDALI, M.A.; SALAM, M.A. **The Impact of Digital Transformation on Supply Chain Procurement for Creating Competitive Advantage: An Empirical Study.** Sustainability (Switzerland), n.14(19), 2022.

AL-KHATIB, A.W. **The impact of industrial Internet of things on sustainable performance: the indirect effect of supply chain visibility.** Business Process Management Journal, 2023a.

AL-KHATIB, A.W. **The determinants of export performance in the digital transformation era: empirical evidence from manufacturing firms International.** Journal of Emerging Markets, 2023b.

AL-NASSER, A. D. **Customer Satisfaction Measurement Models: Generalized Maximum Entropy Approach.** Pak Journal of Statistics, n.19(2), p.213–226, 2003.

BARAL, M. M.; SINGH, R. K.; KAZANCOGLU, Y. **Analysis of factors impacting survivability of sustainable supply chain during COVID-19 pandemic: an empirical study in the context of SMEs.** International Journal of Logistics Management, 2021.

BEHL, A.; JAYAWARDENA, N.S.; PEREIRA, V.; SAMPAT B. **Assessing retailer readiness to use blockchain technology to improve supply chain performance.** Journal of Enterprise Information Management, 2022.

BELHADI, A.; MANI, V.; KAMBLE, S.S.; KHAN, S.A.R.; VERMA S. **Artificial intelligence-driven innovation for enhancing supply chain resilience and performance under the effect of supply chain dynamism: an empirical investigation.** Annals of Operations Research, 2021.

BOLLEN, K. A. **Structural equations with latent variables.** John Wiley & Sons, 1989.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; DRAYER, R. W. **The digital transformation: technology and beyond.** Supply Chain Management Review, n.9(1), p.22-29, 2005.

GONG, C.; RIBIERE, V. **Developing a unified definition of digital transformation.** Technovation, 102, 102217, 2021.

HAIR, J. F.; MATTHEWS, L. M.; MATTHEWS, R. L.; SARSTEDT, M. **PLS-SEM or CB-SEM: updated guidelines on which method to use.** International Journal of Multivariate Data Analysis, n.1(2), p.107-123, 2017.

HAIR, J. F.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. **PLS-SEM: Indeed a Silver Bullet.** Journal of Marketing Theory and Practice, n.19(2), p.139–152, 2011.

IVANOV, D.; DOLGUI, A. **A digital supply chain twin for managing the disruptions risks and resilience in the era of Industry 4.0.** Production Planning and Control, 2020.

KHAN M.; PARVAIZ G.S.; DEDAHANOV A.T.; ABDURAZZAKOV O.S.; RAKHMONOV D.A. **The Impact of Technologies of Traceability and Transparency in Supply Chains**. Sustainability (Switzerland), n.14(24), 2022.

KLINE, R. B. **Principles and practice of structural equation modeling**. 4a ed. Guilford publications, 2011.

KUMAR, R.; KUMAR, D. **Blockchain-based smart dairy supply chain: catching the momentum for digital transformation**. Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies, 2023.

LANG, L.D.; BEHL, A.; PHUONG, N.N.D.; GAUR, J.; DZUNG, N.T. **Toward SME digital transformation in the supply chain context: the role of structural social and human capital**. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, n.53(4), p.448-466, 2023.

MAALMI, A.E.; JENOUI, K.; ABBADI, L.E. **Sustainable supply chain innovation: model validity and resilience study in the Moroccan context**. Supply Chain Forum, n.24(2), p.194-216, 2023.

MAALMI, A.E.; JENOUI, K.; ABBADI, L.E. **Development of a business model in industry 4.0 to achieve sustainable supply chain innovation: Study of Large and Medium Moroccan companies**. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, p.564-574, 2021.

MANIKAS, I.; SUNDARAKANI, B.; SHEHABELDIN, M. **Big data utilization and its effect on supply chain resilience in Emirati companies**. International Journal of Logistics Research and Applications, 2022.

MARÔCO, J. **Análise de equações estruturais: Fundamentos teóricos, software & aplicações**. 2a ed. ReportNumber, Lda, 2014.

NAYAL, K.; RAUT, R.D.; YADAV, V.S.; PRIYADARSHINEE, P.; NARKHEDE, B.E. **The impact of sustainable development strategy on sustainable supply chain firm performance in the digital transformation era**. Business Strategy and the Environment, n.31(3), p.845-859, 2022.

NUREEN, N.; SUN, H.; IRFAN, M.; NUTA, A.C.; MALIK, M. **Digital transformation: fresh insights to implement green supply chain management, eco-technological innovation, and collaborative capability in manufacturing sector of an emerging economy**. Environmental Science and Pollution Research, n.30(32), p.78168-78181, 2023.

OUBRAHIM, I.; SEFIANI, N.; HAPPONEN, A. **The Influence of Digital Transformation and Supply Chain Integration on Overall Sustainable Supply Chain Performance: An Empirical Analysis from Manufacturing Companies in Morocco**. Energies, n.16(2), 2023.

PANETTA, K. **Gartner Top 10 strategic technology trends for 2021**. 2020. Disponível em: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-strategic-technology-trends-for-2021>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

QUEIROZ, M. M.; FOSSO WAMBA, S.; MACHADO, M. C.; TELLES, R. **Smart production systems drivers for business process management improvement.** Business Management Process Journal, n.26(5), p.1075-1092, 2020.

QUEIROZ, M. M.; TELLES, R.; BONILLA, S. H. **Blockchain and supply chain management integration: A systematic review of the literature.** Supply Chain Management, n.25(2), p.241–254, 2019.

SARYATMO, M.A.; SUKHOTU, V. **The influence of the digital supply chain on operational performance: a study of the food and beverage industry.** Indonesia Sustainability (Switzerland), n.13(9), 2021.

TAN, C.L.; TEI, Z.K.; YEO, S.F.; LAI, K.H.; KUMAR, A.; CHUNG, L. **Nexus among blockchain visibility, supply chain integration and supply chain performance in the digital transformation era** Industrial Management & Data Systems, n.123(1), p.229-252, 2023.

VIEIRA, V. A. **Moderação, mediação, moderadora-mediadora e efeitos indiretos em modelagem de equações estruturais: uma aplicação no modelo de desconfirmação de expectativas.** Revista de Administração da Universidade de São Paulo, n.44(1), 2009.

YU, W.; WONG, C.Y.; CHAVEZ, R.; JACOBS, M. **Surfing with the tides: how digitalization creates firm performance through supply chain entrainment.** International Journal of Operations and Production Management, 2023.