



**ADOÇÃO DE COMPUTAÇÃO QUÂNTICA POR PMES BRASILEIRAS: UMA
PROPOSTA DE ANÁLISE PELO *FRAMEWORK* TOE**

Julio Cezar Rodrigues Eloi

Programa de Pós-Graduação em Administração – Univ. Paulista (PPGA/ UNIP)

misterjulio@gmail.com

Jorge Kenji Guenta Junior

Programa de Pós-Graduação em Administração – Univ. Paulista (PPGA/ UNIP)

guentajk@hotmail.com

Giovani Leandro Zago

Programa de Pós-Graduação em Administração – Univ. Paulista (PPGA/ UNIP)

giovani_zago@hotmail.com

Roberto Bernardes Junior

Programa de Pós-Graduação em Administração – Univ. Paulista (PPGA/ UNIP)

robertoitalia@gmail.com

Renato Telles

Programa de Pós-Graduação em Administração - Univ. Paulista (PPGA/ UNIP)

Univ. São Caetano do Sul (PPGA/ USCS)

rtelles1@gmail.com

Palavras-chave: Computação Quântica. *Framework* TOE. Modelagem de Equações Estruturais. Pequenas e Médias Empresas. Economias Emergentes.

1. INTRODUÇÃO

A computação quântica emerge como uma das tecnologias mais disruptivas do século XXI, com potencial para redefinir radicalmente a competitividade industrial em setores críticos, que vão desde o desenvolvimento de fármacos e logística até a segurança cibernética (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2025). No entanto, para as Pequenas e Médias Empresas (PMEs) de economias emergentes como o Brasil, a adoção dessa tecnologia de fronteira apresenta um paradoxo complexo: embora seu potencial transformador seja vasto, ela introduz desafios monumentais relacionados a custos proibitivos, escassez de expertise técnica especializada e acesso limitado a ecossistemas de inovação maduros. Esta pesquisa posiciona-se precisamente para investigar essa problemática, analisando os mecanismos estratégicos através dos quais as PMEs brasileiras podem se preparar e integrar-se à economia quântica emergente, dadas as suas restrições específicas e o contexto nacional de inovação.

1.1 Problema de Pesquisa e Objetivos

O problema central desta pesquisa reside na significativa e crítica lacuna de conhecimento sobre como os ecossistemas de inovação do Sul Global podem capacitar suas PMEs para absorver, adaptar e inovar a partir de tecnologias quânticas. Enquanto nações desenvolvidas e grandes corporações multinacionais avançam rapidamente em uma corrida tecnológica estratégica (CAMPOS; ROSA, 2024), o risco de um aprofundamento abrupto do "*quantum divide*" é palpável e ameaça diretamente a soberania tecnológica, a competitividade futura e a autonomia digital das economias emergentes (BUENO; ALMEIDA, 2025). Diante deste cenário de urgência, a questão de pesquisa que orienta este trabalho é: "Quais são os fatores críticos, no contexto brasileiro, que influenciam a adoção e o desenvolvimento de aplicações de computação quântica por PMEs?". O objetivo geral é, portanto, identificar, validar e hierarquizar esses fatores, propondo um modelo analítico robusto e contextualizado que possa

orientar de forma prática tanto gestores empresariais quanto formuladores de políticas públicas.

1.2 Justificativa

A justificativa para este estudo assenta-se em três pilares fundamentais e interconectados. Economicamente, é imperativo evitar um novo abismo de ruptura tecnológica que poderia marginalizar setores industriais inteiros no Brasil, comprometendo cadeias produtivas nacionais. Socialmente, a pesquisa aborda a urgente necessidade de qualificação e requalificação da força de trabalho para as novas demandas do mercado, mitigando o risco de desemprego tecnológico estrutural e fomentando a criação de empregos de alta complexidade (CHAVES, 2025). Estrategicamente, compreender os caminhos viáveis para a adoção da computação quântica transcende o interesse acadêmico; é uma questão de soberania nacional, essencial para garantir a segurança de dados, a proteção de infraestruturas críticas e a posição negociadora do país em um futuro panorama global já moldado por esta tecnologia (DE OLIVEIRA; AZEVEDO; ARAÚJO-MOREIRA, 2025).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O panorama global da computação quântica é marcado por uma corrida estratégica de proporções geopolíticas, caracterizada por investimentos massivos de potências estrangeiras e grandes corporações multinacionais, configurando um ambiente competitivo de alto risco e alta recompensa (DA SILVA LIMA, DOS SANTOS SILVA; NASCIMENTO, 2025). Em resposta a este movimento global, o Brasil tem construído de forma gradual suas próprias iniciativas de capacitação, como o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Informação Quântica - INCT-IQ (INCT-IQ, 2025), a Rede Rio Quântica (FIGUEIREDO, 2025) e a Rede MCTI/ Softex de computação quântica (Softex, 2022).

É crucial reconhecer que as PMEs em economias emergentes operam sob condições específicas de severa restrição de acesso a capital, infraestrutura tecnológica e talento qualificado. Neste contexto desafiador, a aplicação dessa tecnologia pode representar uma vantagem competitiva significativa nos próximos

anos para as PMEs (PERASSO, 2025). Neste aspecto, a criptografia pós-quântica surge como uma oportunidade imediata, tangível e necessária, dada a ameaça existencial que os computadores quânticos representam aos atuais protocolos de segurança de dados.

Para analisar de forma estruturada e abrangente os multifacetados fatores de adoção tecnológica, este estudo propõe a aplicação do consagrado *framework* TOE (*Technology-Organization-Environment*), originalmente proposto por Tornatzky e Fleischer (1990). Este modelo triádico é particularmente adequado para investigar a adoção de inovações complexas em contextos organizacionais, pois avalia de forma integrada três contextos inter-relacionados:

- Contexto Tecnológico (T): Envolve a percepção da tecnologia pela organização, como utilidade percebida e facilidade de uso, a disponibilidade e acessibilidade de ferramentas de desenvolvimento e a maturidade, confiabilidade e custo dos serviços de nuvem quântica;
- Contexto Organizacional (O): Refere-se às características intrínsecas e recursos da PME, como tamanho, *slack* de recursos financeiros, expertise técnica interna, propensão estratégica à inovação, capacidade absorptiva e estrutura de liderança; e
- Contexto Ambiental (E): Em fatores externos que pressionam ou facilitam a adoção, incluindo políticas governamentais de fomento específicas, pressão competitiva do mercado, apoio de universidades e institutos de pesquisa (p.ex., INCT-IQ) e a disponibilidade de capital de risco (*venture capital*) direcionado ao setor.

3. METODOLOGIA

Para abordar a questão de pesquisa com o devido rigor, profundidade e validade contextual, este estudo adotará uma abordagem mista (quali-quantitativa), iniciada por buscas em bases de dados para robustecer a fundamentação teórica, acompanhado de análise documental, entrevistas semiestruturadas e *survey*. Dessa maneira, o desenho metodológico está estruturado em 5 (cinco) etapas interligadas: Revisão Sistemática da Literatura: Será conduzida rigorosamente nas bases *Scopus*, *Web of Science* e *SPELL*, utilizando um protocolo estruturado com termos-chave

controlados e combinados (e.g., "quantum computing", "SMEs", "technology adoption", "emerging economies", "TOE framework"), para mapear o estado da arte de forma abrangente e solidificar o quadro teórico-conceitual.

1. Revisão Sistemática da Literatura: Será conduzida rigorosamente nas bases *Scopus*, *Web of Science* e *SPELL*, utilizando um protocolo estruturado com termos-chave controlados e combinados (p. ex., "*quantum computing*", "*SMEs*", "*technology adoption*", "*emerging economies*", "*TOE framework*"), para mapear o estado da arte de forma abrangente e solidificar o quadro teórico-conceitual;
2. Análise Documental: Será realizada de forma sistemática em documentos oficiais do PNCQ, planos estratégicos de agências de fomento (FINEP, BNDES) e relatórios setoriais de indústria, com o objetivo principal de contextualizar e mapear detalhadamente o Contexto Ambiental (E) no Brasil;
3. *Survey* quantitativo: Um questionário estruturado, baseado nos constructos do *framework* TOE e em escalas previamente validadas na literatura internacional, será aplicado a uma amostra estratificada de PMEs brasileiras de base tecnológica, coletando dados robustos e generalizáveis sobre os Contextos Tecnológico (T) e Organizacional (O);
4. Estudos de caso qualitativos: Entrevistas semiestruturadas em profundidade serão conduzidas com gestores, CTOs e fundadores de 3 a 5 PMEs que já possuem projetos pioneiros em andamento na área, com o propósito central de capturar nuances, estratégias, barreiras profundas e percursos narrativos não acessíveis via *survey*; e
5. Análise e triangulação de dados: Os dados quantitativos serão analisados por meio de técnicas avançadas de Modelagem de Equações Estruturais (MEE) com o auxílio do *software* SmartPLS 4.0, especialmente apropriado para modelos complexos e amostras de tamanho limitado (HAIR et al., 2022). Os dados qualitativos serão submetidos à análise de conteúdo temática-categorial. A triangulação metodológica dos resultados de ambos os métodos será fundamental para validar, enriquecer e conferir profundidade interpretativa à identificação e hierarquização dos fatores críticos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ESPERADOS

Embora este trabalho se encontre em fase embrionária de execução, no formato de projeto de tese de doutorado estruturada em três artigos, espera-se que seus achados resultem em contribuições significativas e originais para o debate sobre inovação tecnológica radical em economias emergentes. A aplicação do *framework* TOE, após a coleta e análise triangulada de dados, pretende gerar insights valiosos e acionáveis, tanto pelo rigor metodológico oferecido por variáveis metricamente validadas internacionalmente, quanto pela aplicação empírica original em um contexto tecnológico de fronteira no Brasil.

Antecipa-se que a análise estatística via MEE permitirá não apenas identificar os fatores mais influentes de forma isolada, mas também hierarquizá-los por ordem de impacto e, crucialmente, entender as complexas relações de mediação e moderação entre eles, oferecendo assim um modelo teórico-final robusto, preditivo e contextualizado. Reconhece-se, contudo, uma limitação inerente ao estudo: o fato de a amostra quantitativa, ainda que criteriosa e estratificada, pode não ser ampla o suficiente para generalizações estatísticas irrestritas para todo o universo extremamente heterogêneo das PMEs brasileiras. Mesmo assim, a profundidade da abordagem mista sequencial, o rigor analítico das técnicas escolhidas e a riqueza dos dados qualitativos garantirão a validade interna, a consistência e a capacidade de gerar reflexões contundentes e transferíveis para contextos análogos no Sul Global.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que este estudo identifique, valide e hierarquize os fatores críticos dos três contextos do *framework* TOE que impactam decisivamente a adoção da computação quântica pelas PMEs brasileiras. As contribuições prospectadas são intencionalmente multifacetadas:

- Teórica: Avançar na aplicação e possível adaptação contextualizada do *framework* TOE em um domínio tecnológico de fronteira absoluta (computação quântica) no Sul Global, potencialmente propondo extensões ou adaptações ao modelo para melhor capturar a realidade específica desses contextos.
- Gerencial: Oferecer um *roadmap* prático, priorizado e acionável para gestores de PMEs navegarem no incipiente, mas crucial ecossistema quântico, além de

fornecer *insights evidence-based* para a formulação de políticas públicas mais efetivas, focalizadas e eficientes por parte de instituições como MCTI, FINEP e SEBRAE.

- Social: Contribuir de forma substantiva para reduzir o *quantum divide* no Brasil, fomentando ativamente a inclusão produtiva de empresas e profissionais nacionais na economia do conhecimento de última geração, preparando o país para os desafios e oportunidades do futuro.

Como limitações prospectivas, reconhece-se honestamente o recorte temporal de uma tecnologia em evolução extremamente rápida e não-linear, e o potencial desafio de acesso a um número ideal de respondentes com expertise específica e ainda escassa. Para pesquisas futuras, propõe-se uma agenda vibrante que inclua estudos longitudinais para capturar a evolução do fenômeno, investigação focada em modelos de negócio específicos e viáveis para PMEs no setor quântico, análises comparativas internacionais com outras economias emergentes e estudos focados exclusivamente na capacitação e na cadeia de valor da criptografia pós-quântica.

REFERÊNCIAS

BUENO, C; ALMEIDA, P. O poder da informação quântica: o futuro da inteligência artificial? *Ciência e Cultura*, v. 77, n. 2, p. 99-104, 2025. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.48207/2317-6660.20250033> . Acesso em: 15 set. 2025.

CAMPOS, B. A. R.; ROSA, E. C. A evolução da computação quântica: impacto na criptografia RSA e a segurança nacional. 2024. Disponível em: https://repositorio.if-goiano.edu.br/bitstream/prefix/4631/1/art_Breno%20Augusto%20Ribeiro%20Campos.pdf . Acesso em: 15 set. 2025.

CHAVES, R. Uma ciência quântica brasileira de impacto global é, sim, possível. *Ciência e Cultura*, v. 77, n. 1, p. 85-90, 2025. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.48207/2317-6660.20250011> . Acesso em: 15 set. 2025.

DE OLIVEIRA, T. F. D.; AZEVEDO, C. E. F.; ARAÚJO-MOREIRA, F. M. O papel das tecnologias quânticas na disputa geopolítica entre grandes potências e seu impacto na defesa do Brasil. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, v. 22, n. 65, p. 268-296, 2025.

Disponível em: <https://revista.ioles.com.br/boca/index.php/revista/article/view/7200/1479> . Acesso em: 15 set. 2025.

DA SILVA LIMA, M. N.; DOS SANTOS SILVA, L.; NASCIMENTO, F. A. Computação quântica: desafios e suas potenciais aplicações práticas. Revista Contemporânea, v. 5, n. 9, p. e9023-e9023, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.56083/RCV5N9-023> . Acesso em: 15 set. 2025.

FIGUEIREDO, A. L. Brasil dá salto na computação quântica. 2025. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2025/08/11/pro/primeira-rede-quantica-do-brasil-conecta-cinco-instituicoes-no-rio/> . Acesso em: 15 set. 2025.

HAIR, J. F.; HULT, G. T. M.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). 3. ed. [S. l.]: Sage, 2022. ebook. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7> . Acesso em: 15 set. 2025.

INCT-IQ. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Informação Quântica. 2025. Disponível em: <http://www.inct-iq.org/> . Acesso em: 15 set. 2025.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. A quantum technologies Policy Primer, n. 371. Paris: OECD Publishing, 2025. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/a-quantum-technologies-policy-primer_fd1153c3-en.html . Acesso em: 15 set. 2025.

PERASSO, F. Computação Quântica para PMEs: Já é Realidade! PME News. 2025. Disponível em: <https://pmenews.com.br/artigo/computacao-quantica-para-pmes-ja-e-realidade/> . Acesso em: 15 set. 2025.

SOFTEX. Rede MCTI/Softex de Computação Quântica deverá impulsionar esta ciência no país. 2022. Disponível em: <https://softex.br/rede-mcti-softex-de-computacao-quantica-devera-impulsionar-esta-ciencia-no-pais/> . Acesso em: 15 set. 2025.

TORNATZKY, L. G.; FLEISCHER, M. The processes of technological innovation. Lexington: Lexington Books, 1990.