XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8330

# Uso de tecnologias digitais em obras de infraestrutura de gás canalizado no Brasil

## Use of digital technologies in piped gas infrastructure projects in Brazil.

**Thaís de Melo Cunha**
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | thais_melo2023@outlook.com
**Cilas de Castro Santos**
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | cilascastro2311@hotmail.com
**Luis Felipe Cândido**
Universidade Federal do Ceará | Crateús | Brasil | luisfcandido2015@gmail.com
**José de Paula Barros Neto**
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | jpbarros@ufc.br

**Resumo**

A indústria da construção, incluindo o segmento de infraestrutura de gás natural, apresenta baixa maturidade digital e escassez de estudos sobre a adoção de tecnologias digitais (TD). Este estudo analisou o cenário atual de adoção das TDs em obras de infraestrutura de gás canalizado no Brasil, identificando as tecnologias empregadas, além das fases do empreendimento em que são aplicadas. A pesquisa foi realizada por meio de uma survey com 75 profissionais da área, atuantes no setor de infraestrutura de gás em diferentes estados do Brasil. Os resultados mostram elevada adoção de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), Computação em Nuvem e os Sensores. Em contrapartida, tecnologias como Blockchain, Robótica e Tecnologias Vestíveis apresentam uma baixa taxa de adoção. Conclui-se se que a adoção tecnológica ocorre de forma gradual e predominantemente associada a ferramentas voltadas à gestão da informação, planejamento e monitoramento das obras. O estudo contribui ao oferecer um panorama inédito fornecendo subsídios para estratégias de inovação e apoio à transição energética.

Palavras-chave: Gás Canalizado. Tecnologias Digitais. Inovação. Projeto de Infraestrutura.

**Abstract**

The construction industry, including the natural gas infrastructure sector, exhibits low levels of digital maturity, and studies on the adoption of digital technologies (DTs) remain scarce. This study analyzed the current state of DT adoption in gas infrastructure projects in Brazil, identifying both the technologies employed and the project phases in which they are applied. The research was conducted through a quantitative survey with 75 professionals working in the gas infrastructure sector across different regions of Brazil. The results reveal high adoption rates of Geographic Information Systems (GIS), cloud computing, and sensors stand out. In contrast, technologies such as blockchain, robotics, and wearable technologies exhibit low adoption rates. The findings indicate that technological adoption occurs gradually and is predominantly associated with tools focused on information management, planning, and project monitoring. The study contributes by providing the first comprehensive overview of DT adoption in Brazil's natural gas infrastructure sector, offering insights to support innovation strategies and the advancement of the energy transition.

*Keywords: Piped Gas. Digital Technologies. Innovation. Infrastructure Project.*

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8330

## INTRODUÇÃO

Apesar do potencial revolucionário, o setor “óleo e gás” enfrenta desafios de gestão e produtividade. A dificuldade de transporte de gás natural pelos gasodutos, pincipalmente nas regiões centrais do país, impulsiona o consumo de alternativas poluentes devido a maior facilidade de acesso a estas e a falta de infraestrutura adequada para o gás. Nesse cenário, há uma grande necessidade de implementar estratégias avançadas e tecnologias inovadoras [1] seguindo o exemplo de diferentes segmentos da indústria que têm incorporado tecnologias avançadas em seus processos, como o automobilístico, o varejista, entre outros [2], que estão avançando em sua transformação digital.

A importância dessa transformação é aumentada pelo contexto da transição energética e descarbonização. As tecnologias digitais desempenham um papel fundamental na transição energética, possibilitando habilitar redes inteligentes, monitorar e integrar a operação de infraestrutura energéticas em tempo real [3].

Estudos anteriores focam em obras subterrâneas genéricas ou tecnologias isoladas [4-8] evidenciando uma lacuna de conhecimento sobre os vetores e barreiras específicos para este setor.

Diante disso, este artigo tem como objetivo analisar o uso de tecnologias digitas em obras de infraestrutura de gás canalizado no Brasil. De forma específica, levantou-se as tecnologias utilizadas e em quais fases elas estão presentes. Além disso, foram analisados o perfil dos profissionais que as utilizam, o porte da empresa, o tipo e o porte de obra em que trabalham. Para tanto, realizou-se uma survey com 75 profissionais do setor em diferentes estados do Brasil.

## REFERENCIAL TEÓRICO

As obras de infraestrutura de gás exigem planejamento rigoroso [9], desde o georreferenciamento do traçado até testes de estanqueidade e monitoramento remoto [10]. A sua instalação segue normas rigorosas de segurança e qualidade [11] o que envolve sinalização e isolamento das áreas de intervenção, escavação e preparação de valas, conforme especificações técnicas, garantindo profundidade e proteção adequadas [12].

A "Construção 4.0" surge como o paradigma para remodelar esses processos através de hardware e software integrados [13]. Esta estrutura transformadora é baseada em uma confluência de tendências e tecnologias, digitais e físicas, que prometem remodelar a forma como os ativos do setor são projetados e construídos. Nesse contexto, a Indústria 4.0, que combina tecnologias avançadas, como aprendizado de máquina, análise de big data, a tecnologia blockchain e a Internet das Coisas (IoT), oferece oportunidades sem precedentes para as empresas otimizarem processos [14].

O consumo de gás natural tem mostrado crescimento em todos os continentes [15]. Com o aumento contínuo da demanda, que varia entre 2% e 5% ao ano, espera-se que, até 2040, a demanda global cresça 40% [16] fazendo com que esse combustível se

torne uma das fontes de energia mais significativas do planeta, estabelecendo uma base de mercado global para o setor gás [17].

Assim, o atendimento da demanda existente e do potencial de crescimento para os próximos anos somente é possível por meio do desenvolvimento da infraestrutura de gás canalizado de forma eficiente, com qualidade e produtividade com o auxílio e implementação das TD.

Nesse sentido, a Figura 1 apresenta uma lista das TDs que foram consideradas nesse estudo. Foram selecionadas aquelas utilizadas na indústria da construção, aplicáveis a obras de infraestrutura subterrânea, em que está inserida a infraestrutura de gás canalizado, e presentes na literatura existente que aborda o assunto estudado no presente trabalho.

**Figura 1: Lista de tecnologias digitais selecionadas**




Fonte: dos autores

## MÉTODO DE PESQUISA

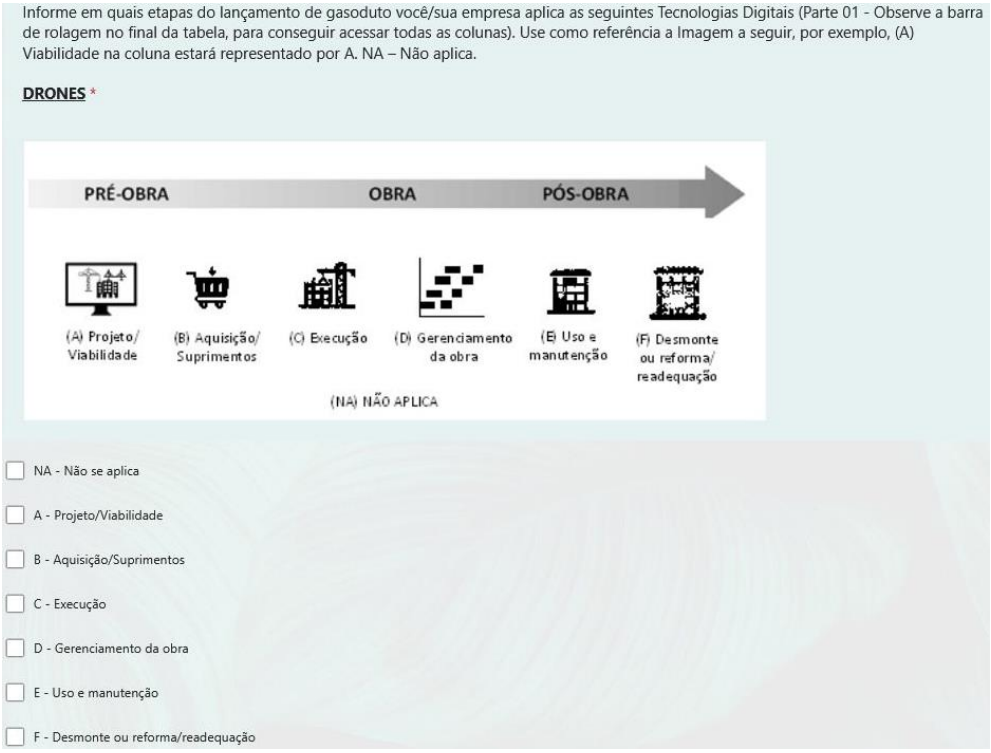
Esta pesquisa empregou uma abordagem quantitativa com objetivos descritivo-explicativos [18] com uma lógica dedutiva [19]. A estratégia de pesquisa foi uma survey [20].

Inicialmente, foi realizada uma revisão de literatura em dezembro de 2024 e janeiro de 2025, por meio de pesquisa à base de dados Scopus e à Web of Science (WoS), a fim de identificar as tecnologias presentes na literatura.

Em seguida, buscou-se descrever o estado atual do uso das TDs pelos profissionais da área. O instrumento de coleta foi um questionário eletrônico utilizando a plataforma Microsoft Forms, durante os meses de setembro, outubro e novembro de 2025, estruturado em três seções: (1) questões com escala Likert para mensurar a percepção dos entrevistados sobre os fatores que influenciam a utilização de tecnologias digitais em obras de infraestrutura de gás canalizado no Brasil; (2) caracterização geral da empresa e das obras na qual os entrevistados trabalham e para identificar as tecnologias que são utilizadas e em que fase da obra esse uso ocorre; e (3) questões para caracterização dos entrevistados com dados sociodemográficos. Os resultados apresentados nesse trabalho abordam as partes dois e três. O questionário passou por três rodadas consecutivas de pré-teste, sendo cada rodada realizada após a anterior e incorporando os ajustes necessários.

A Figura 2 apresenta um exemplo de questão aplicada para identificação de qual tecnologia está sendo aplicada em qual fase do projeto de infraestrutura de gás canalizado no Brasil.

**Figura 2: Exemplo de questão aplicada.**




Fonte: dos autores

A amostragem foi não probabilística por conveniência [21] alcançando profissionais atuantes em distribuidoras, transportadoras e prestadoras de serviço em diversas regiões do Brasil. Neste estudo, as respostas foram submetidas a uma triagem inicial para identificar aquelas inconsistentes, por meio da verificação de respostas duplicadas, tempos de resposta excessivamente curtos (indicando falta de atenção),

padrões idênticos em toda a pesquisa (como marcação de uma única alternativa em todas as perguntas) e respostas incompatíveis entre si. Após esse passo, as respostas foram submetidas a testes estatísticos básicos para avaliação da qualidade da amostra: (1) rastreamento de valores ausentes em todos os casos; (2) rastreamento de valores ausentes em todas as variáveis; (3) identificação preliminar de respostas não engajadas; e (4) identificação de valores extremos.

Após esses procedimentos, a amostra final ficou composta por 75 respostas válidas, a partir da qual os resultados foram analisados. Para tanto, foi utilizada análise descritivo-exploratória, através de medidas de frequência absoluta e relativa, percentuais e percentuais acumulados, possibilitando a descrição das características individuais e profissionais dos participantes, bem como aspectos organizacionais e operacionais das empresas e dos empreendimentos.

Em relação ao tamanho da amostra, estudos recentes têm utilizado quantitativos compatíveis com o presente trabalho. [22-26] empregaram amostras moderadas evidenciando que pesquisas em contextos técnicos frequentemente trabalham com universos delimitados. No presente estudo, as 75 respostas válidas referem-se a profissionais do setor de infraestrutura de gás canalizado no Brasil, segmento altamente especializado e naturalmente restrito. Assim, considerando a natureza exploratória-descritiva da pesquisa, a especificidade do setor e o suporte metodológico da literatura, o tamanho amostral mostra-se adequado aos objetivos propostos.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados da pesquisa e sua discussão. Primeiramente apresenta-se a representação do perfil dos respondentes, suas empresas e obras. Em seguida, traça-se o panorama do uso de tecnologias digitais por profissionais de obras de infraestrutura de gás canalizado no Brasil.

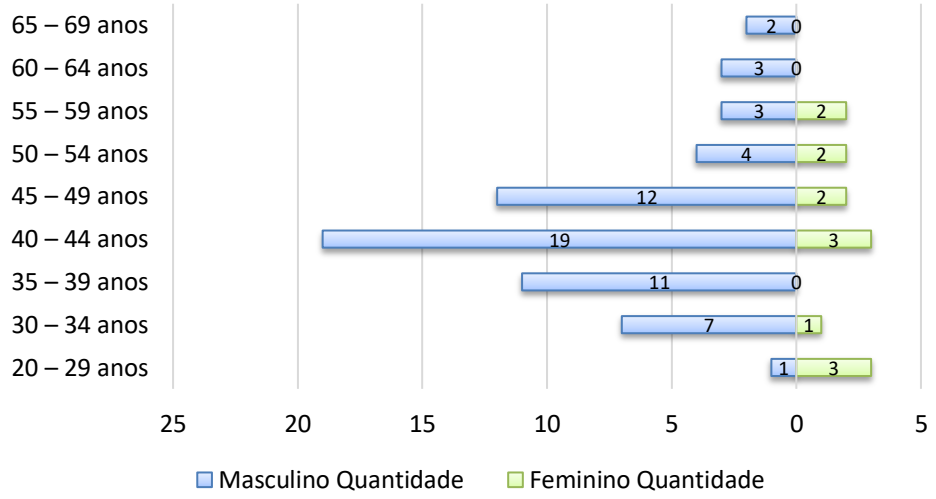
### PERFIL DOS RESPONDENTES E EMPRESAS

Em primeiro plano, realizou-se uma análise do perfil dos respondentes e das empresas em que trabalham para as 75 respostas válidas que compuseram a amostra da pesquisa.

### PERFIL DOS RESPONDENTES

O Gráfico 1 mostra a caracterização de faixa etária e de gênero dos respondentes.

**Gráfico 1: Faixa etária e gênero dos respondentes**

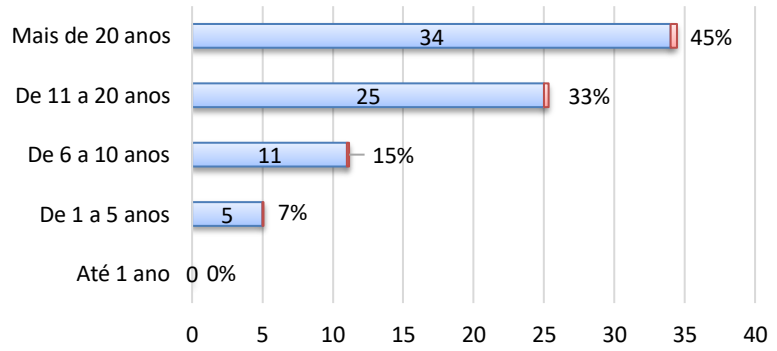



Fonte: dos autores

Com relação ao gênero, observa-se a predominância do sexo masculino, que corresponde a 83% dos respondentes, enquanto o sexo feminino representa 17% da amostra. No que se refere à faixa etária, verifica-se que a maior concentração dos respondentes está entre 40 e 44 anos, representando 29% do total. Tal perfil é condizente com o contexto profissional analisado, no qual se espera maior participação de indivíduos com experiência consolidada no mercado de trabalho.

O Gráfico 2 apresenta as informações referente ao tempo de atuação no mercado de gás dos respondentes.

**Gráfico 2: Tempo de atuação no mercado dos respondentes.**

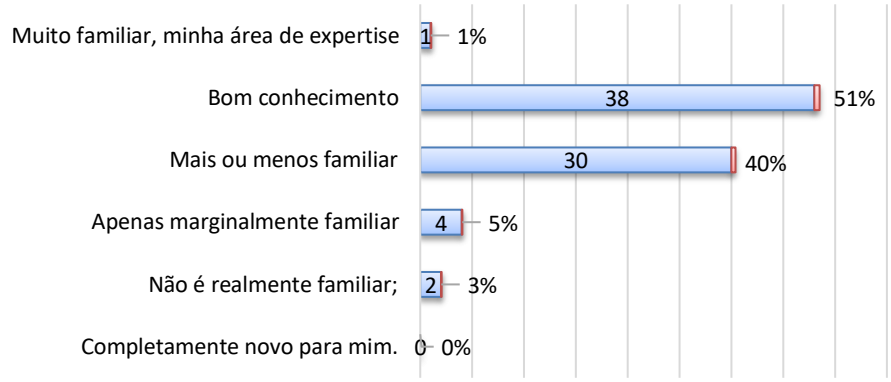



Fonte: dos autores

Quanto ao tempo de atuação no mercado de gás, observa-se que a maior parcela dos respondentes possui experiência maior que 20 anos, correspondendo a 45% da amostra. Em seguida, destacam-se os profissionais entre 11 e 20 anos de atuação nesse mercado, que representam 33% dos participantes. Desta forma, verifica-se que 78% dos respondentes possuem mais de 10 anos de experiência profissional, evidenciando que a amostra é composta majoritariamente por profissionais com trajetória consolidada no mercado de trabalho

Prosseguindo na análise do perfil dos respondentes, eles foram questionados a respeito no seu nível de familiaridade nas temáticas de TDs. Esses dados estão apresentados no Gráfico 3.

**Gráfico 3: Nível de familiaridade em relação as TDs**



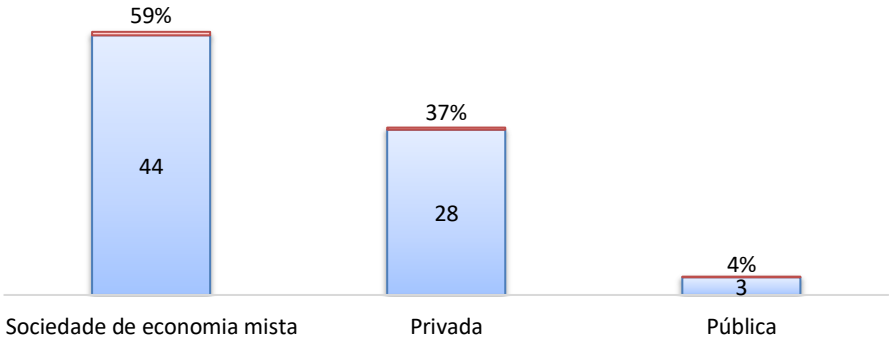

Fonte: dos autores

Observa-se que, em relação às TDs, a maioria dos respondentes demonstra ao menos um nível intermediário de conhecimento, uma vez que 40% declararam ser mais ou menos familiar e 51% indicaram possuir bom conhecimento. Esse perfil comprova que a amostra é composta por profissionais qualificados e familiarizados com os assuntos, o que reforça a adequação dos respondentes aos objetivos desse estudo e contribui para a robustez e confiabilidade das análises realizadas.

### PERFIL DAS EMPRESAS/OBRAS

O Gráfico 4 mostra o perfil das empresas em que os respondentes trabalham.

**Gráfico 4: Perfil das empresas**




Fonte: dos autores

Verifica-se a predominância de organizações classificadas como sociedade de economia mista (59%), seguidas por empresas privadas (37%). As empresas públicas apresentam participação reduzida com 4% do total.

Esses dados indicam que a amostra é composta predominantemente por um perfil de empresas com características híbridas, nas quais coexistem elementos do setor público e do setor privado. Tal perfil é relevante para o contexto do estudo, uma vez

que esse tipo de organização atua, em geral, em ambientes regulados e em projetos de maior complexidade técnica e institucional, nos quais decisões relacionadas à gestão, investimentos e adoção de novas tecnologias tendem a seguir diretrizes normativas e estratégicas específicas. Além disso, a presença expressiva de empresas privadas indica diversidade organizacional na amostra e contribui para uma análise mais abrangente das práticas e percepções investigadas.

A classificação com o tipo e o porte de obra mais representativo está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1: Tipo e porte de obra**

| Tipo de obra \ Porte da obra | Curta (< 1 km) | Média (1–5 km) | Longa (5–20 km) | Extensa (> 20 km) | Total | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Infraestrutura de distribuição de gás | 15 | 12 | 20 | 19 | **66** | **88,0** |
| Infraestrutura de transporte de gás | 0 | 1 | 2 | 3 | **6** | **8,0** |
| Outros (Projetos / Construção...) | 2 | 0 | 0 | 1 | **3** | **4,0** |
| **Total** | **17** | **13** | **22** | **23** | **75** | **100,0** |
| **%** | **23,7** | **17,3** | **29,3** | **30,7** | **100,0** | **-** |

Fonte: dos autores.

A análise cruzada entre o tipo de obra e o porte das obras mostra a predominância das obras de infraestrutura de distribuição de gás, constituindo 88,0% do total de respondentes. Esse tipo de obra apresenta participação em todos os portes analisados, com maior concentração nas categorias de longa extensão (29,3%) e extensa extensão (30,7%). As obras de infraestrutura de transporte de gás, embora representem uma parcela menor da amostra (8,0%), concentram-se predominantemente nos portes longa e extensa, o que é compatível com a natureza estrutural e estratégica desse tipo de empreendimento. Desta forma, os resultados indicam que o perfil dos respondentes está associado predominantemente a obras de médio a grande porte, caracterizadas por maior extensão e complexidade técnica, o que reforça a adequação da amostra aos objetivos do estudo e ao contexto de análise proposto.

### USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA DE GÁS CANALIZADO

A Tabela 2 apresenta o percentual dos profissionais que usam TD por número de tecnologias utilizadas.

**Tabela 2: Percentual dos profissionais que usam TD**

| Quantidade de TDs utilizadas | Nº de profissionais | % entre todos os respondentes | % entre os que aplicam TDs |
|---|---|---|---|
| Não usam | 1 | 1,3 | – |
| 2 tecnologias | 1 | 1,3 | 1,4 |
| 3 tecnologias | 2 | 2,7 | 2,7 |
| 4 tecnologias | 6 | 8,0 | 8,1 |
| 5 tecnologias | 7 | 9,3 | 9,5 |
| 6 tecnologias | 11 | 14,7 | 14,9 |
| 7 tecnologias | 10 | 13,3 | 13,5 |
| 8 tecnologias | 8 | 10,7 | 10,8 |
| 9 tecnologias | 4 | 5,3 | 5,4 |
| 10 tecnologias | 6 | 8,0 | 8,1 |
| 11 tecnologias | 3 | 4,0 | 4,1 |

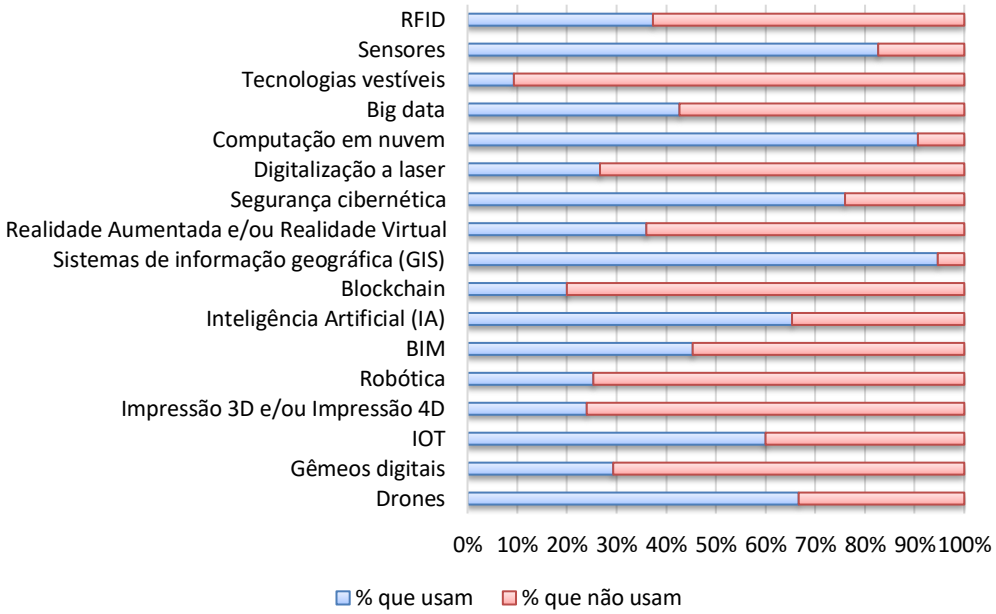
| | | | |
|---|---|---|---|
| 12 tecnologias | 2 | 2,7 | 2,7 |
| 13 tecnologias | 5 | 6,7 | 6,8 |
| 14 tecnologias | 1 | 1,3 | 1,4 |
| 15 tecnologias | 5 | 6,7 | 6,8 |
| 16 tecnologias | 1 | 1,3 | 1,4 |
| 17 tecnologias | 2 | 2,7 | 2,7 |
| **Total** | **75** | **100,0** | **100,0** |

Fonte: dos autores

Observa-se maior concentração de respondentes que utilizam entre 6 e 8 tecnologias, com destaque para aqueles que usam 6 TDs (14,7%) e 7 TDs (13,3%), indicando um nível intermediário de adoção tecnológica. Esse perfil sugere que a maioria dos profissionais utiliza um conjunto diversificado, mas ainda limitado, de TDs em suas atividades. Os dados indicam que a adoção de TDs ocorre de forma gradual, sendo pouco frequente o uso isolado de uma única tecnologia. Tal achado reforça que, no setor de obra de infraestrutura de gás canalizado, a incorporação de TDs tende a se dar por meio da integração de múltiplas ferramentas ao longo das diferentes etapas das obras.

O Gráfico 5 apresenta, para cada TD, o percentual de aplicação e de não aplicação pelos 75 respondentes.

**Gráfico 5: Percentual de uso para cada Tecnologia**




Fonte: dos autores

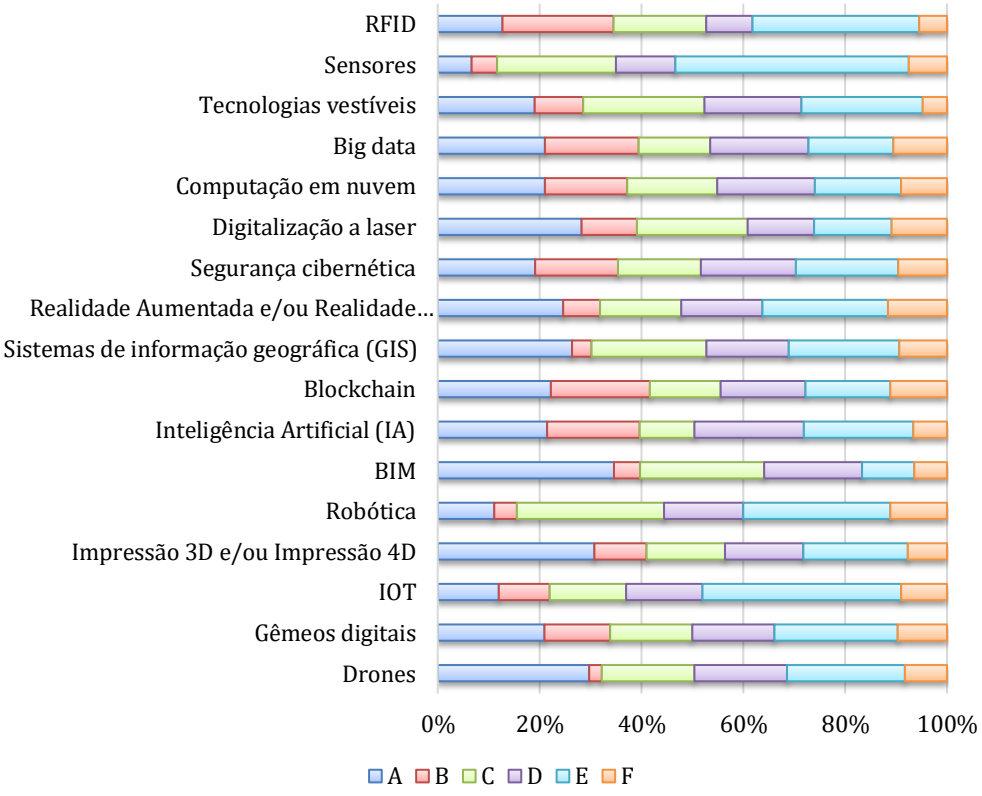
Entre as tecnologias com maior percentual de uso, destacam-se os Sistemas de Informação Geográfica (GIS), aplicados por 94,7% dos participantes, seguidos pela Computação em Nuvem, com 90,7%, e pelos Sensores, com 82,7%. Esses resultados indicam que tecnologias voltadas à gestão da informação, monitoramento e integração de dados já estão consolidadas nas práticas das empresas. A Segurança

Cibernética também apresenta elevada adoção, com 76%, refletindo a crescente preocupação com a proteção de dados e sistemas digitais.

É possível observar um cenário heterogêneo de adoção de TDs, no qual convivem soluções amplamente consolidadas e outras ainda em estágio inicial de difusão. Essa diversidade reforça a importância de aprofundar a análise sobre os fatores que influenciam a adoção tecnológica, bem como de promover ações de capacitação e disseminação do conhecimento, de modo a ampliar o uso estratégico dessas TDs no setor de obras de infraestrutura de gás canalizado.

O Gráfico 6 apresenta os usos de cada tecnologias em cada fase da obra em termos percentuais.

**Gráfico 6: Distribuição do uso de cada tecnologia por fase em termos percentuais**




Legenda: A – Projeto/Viabilidade; B – Aquisição/Suprimentos; C – Execução; D – Gerenciamento da Obra; E – Uso e Manutenção; F – Desmonte ou reforma/readequação.
Fonte: dos autores

Na fase de Projeto/Viabilidade (A), verifica-se alta concentração de aplicações tecnológicas, com destaque para os Sistemas de Informação Geográfica (GIS). Já a fase de Aquisição/Suprimentos (B) apresenta o segundo menor volume de aplicações quando comparada às demais etapas. Em relação a fase de Execução (C), observa-se aumento significativo no uso das Tecnologias Digitais, com destaque para GIS, Computação em Nuvem, Segurança Cibernética, Sensores e Drones.

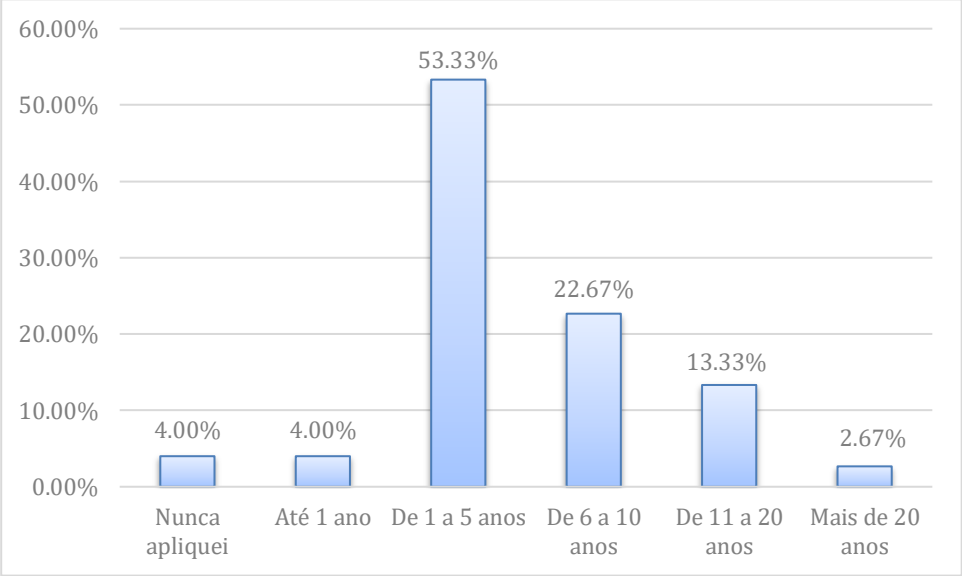
De forma similar, a fase de Gerenciamento da Obra (D) concentra elevado número de aplicações tecnológicas, novamente com predominância de Computação em Nuvem,

Segurança Cibernética, GIS, IA e Drones. Na fase de Uso e Manutenção (E), verifica-se uma forte concentração de aplicações tecnológicas, destacando-se de forma mais expressiva os Sensores. Por fim, a fase de Desmonte ou Reforma/Readequação (F) apresenta os menores quantitativos de aplicação tecnológica entre todas as fases observadas.

Os resultados demonstram que o uso das TDs é heterogêneo ao longo das fases do empreendimento. Essa distribuição reforça o papel estratégico das TDs nas fases centrais do ciclo de vida das obras e mostra oportunidades de ampliação do uso tecnológico nas etapas menos exploradas.

O Gráfico 7 apresenta o tempo de uso das TDs.

**Gráfico 7: Tempo de uso das TDs**




Fonte: dos autores

O Gráfico 7 evidencia que o uso das TDs pelos respondentes é relativamente recente, concentrando-se sobretudo nas faixas de 1 a 5 anos (53,33%) e 6 a 10 anos (22,67%). Apenas 13,33% utilizam essas tecnologias há 11 a 20 anos, e 2,67% há mais de 20 anos, indicando que a adoção de longo prazo ainda é restrita. Em suma, 80% dos participantes utilizam TDs até 10 anos, confirmando o viés recente do processo de transformação digital no setor de infraestrutura de gás canalizado.

## CONCLUSÃO

Este estudo analisou o cenário atual de adoção das TDs em obras de infraestrutura de gás canalizado no Brasil, identificando as tecnologias empregadas, além das fases do empreendimento em que são aplicadas. Por meio de uma survey com 75 profissionais da área o estudo demonstrou que o setor de infraestrutura de gás no Brasil possui profissionais experientes e empresas maduras, o que favorece a digitalização. Observou-se que a adoção tecnológica ocorre de forma gradual e predominantemente associada a ferramentas voltadas à gestão da informação, planejamento e monitoramento das obras.

Tecnologias consolidadas, como Sistemas de Informação Geográfica, Computação em Nuvem e Sensores, apresentaram elevado nível de adoção, refletindo a centralidade do controle espacial, da integração de dados e do acompanhamento operacional em obras subterrâneas. Por outro lado, soluções mais avançadas e disruptivas ainda possuem menor presença, indicando a existência de barreiras que influenciam a velocidade e a intensidade da digitalização no setor.

Também foi observado uma aplicação heterogênea entre as fases com forte concentração tecnológica nas fases de Projeto/Viabilidade (foco em GIS), Execução e Gerenciamento da Obra (com predomínio de Nuvem, GIS, Segurança Cibernética, IA e Drones). Já as fases de Uso e Manutenção, destacam-se os Sensores, enquanto as fases de Aquisição/Suprimentos e Desmonte/Reforma apresentam os menores índices de emprego tecnológico.

Conclui-se que a transformação digital é um processo recente em curso e de nível intermediário focado em ferramentas de suporte à informação e monitoramento. Esses resultados podem servir de base para que gestores e o poder público formulem estratégias que possibilitem acelerar a transformação tecnológica do setor, contribuindo para a modernização do setor e a transição energética para sustentabilidade.

Apesar das contribuições, o estudo possui limitações. Em primeiro lugar, os dados quantitativos foram obtidos por meio de questionários autoaplicáveis, estando sujeitos à vieses dos respondentes, requerendo parcimônia na interpretação dos resultados. Ainda, não foi analisado o grau de utilização das tecnologias o que, novamente, está sujeito ao viés dos respondentes. Embora a amostra contemple profissionais de diferentes estados brasileiros, não houve uma distribuição homogênea da quantidade de respondentes por região, o que sugere um viés geográfico. Por fim, não foram explorados os fatores que determinam a adoção dessas tecnologias, o que particularmente importante para que estratégias sejam delineadas para o avanço da digitalização do setor, o que fica como sugestão para trabalhos futuros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos a todos os participantes desta pesquisa, cujo tempo e disposição foram fundamentais para a realização deste estudo.

## DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a preparação deste artigo, o segundo autor utilizou o ChatGPT (GPT-5.5, OpenAI) exclusivamente para revisar a redação do trabalho com objetivo de aprimorar a clareza, a fluidez e a correção gramatical do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

## REFERÊNCIAS


[1] BARBOSA, A.M.; CAMARGOS, A.A.; RAMPINELLI, D.L. Standardization and normalization of pipeline projects. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, Vol. 17, Nº. 1, pp. 1677-1685, 2024.

[2] MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K.-I.The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4.0 business Models - A comparison between SMEs and large enterprises. **European Management Journal, Elsevier**, vol. 39(3), pages 333-343, 2021

[3] REHMAN, A. et al. Sustainability-aligned pathways for energy transition: A review of low-carbon energy network solutions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 226, n. PE, p. 116428, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116428.

[4] BARBOSA, L.P. **Proposta de rede para postos de GNV no Maranhão através de otimização espacial**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2024.

[5] SILVA, D. F. A., HONORÉ, A., MELO, T. M. Desenvolvimento do mercado de gás natural nos sistemas isolados do Brasil: lições do estado do Amazonas para o Maranhão. **Ensaio Energético**, Rio de Janeiro, 2023.

[6] REHMAN, S.U.; JABEEN, F.; SHAHZAD, K.; RIAZ, A.; BHATTI, A. Industry 4.0 technologies and international performance of SMEs: mediated-moderated perspectives. **International Entrepreneurship and Management Journal**, v. 21, p. 25, 2025.

[7] SHARAFAT, A.; KHAN, M.S.; LATIF, K.; TANOLI, W.A.; PARK, W.; SEO, J. BIM-GIS-Based Integrated Framework for Underground Utility Management System for Earthwork Operations. **Applied Sciences**, v. 11, n. 12, p. 5721, 2021.

[8] YADAV, S.; PRAKASH, A.; ARORA, M; MITTAL, A. Digital transformation: exploring cornerstones for construction industry. **Kybernetes**, 2023.

[9] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Regulamentação do setor de gás natural**. Brasília: ANP, 2023.

[10] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Planejamento energético nacional**, 2023.

[11] TRANSPORTADORA ASSOCIADA DE GÁS (TAG). **Segurança e operação de gasodutos**, 2023.

[12] PETROBRAS. **Engenharia e tecnologia na infraestrutura de gás**, 2023.

[13] BEHIE, S. W.; PASMAN, H. J.; KHAN, F. I.; SHELL, K.; ALARFAJ, A.; EL-KADY, A. H.; HERNANDEZ, M. Leadership 4.0: The changing landscape of industry management in the smart digital era. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 172, pp. 317–328, 2023.

[14] DING, B.; FERRÀS HERNÁNDEZ, X.; AGELL JANÉ, N. Combining lean and agile manufacturing competitive advantages through Industry 4.0 technologies: an integrative approach**. Production Planning & Control**, v. 34, n. 5, p. 1–17, 2021.

[15] OLIVEIRA, L.S.M.; CORREIA, T.C.V.D. Data envelopment analysis applied to evaluate the usage of oil and natural gas: South America case. **Nuclear Energy**, v. 23, p. 5, 2007.

[16] GNGI. USA. Global Natural Gas Insights. **Sustainable Future Powered by Gas**. v. 1, n. 1, 2019 Edition, 2019.

[17] SANTOS, E. M; AMORIM, B. E.; PEYERL, D.; COSTA, H. K. M. Balanço Sul-Americano: O Gás Natual como vetor de integração energética do cone sul. **Política Energética no Brasil: Sua Participação no Desenvolvimento e no Relacionamento Internacional**. Editora Appris, p. 26-42, 2020.

[18] COLLIS, J.; HUSSEY, R**. Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

[19] KIM, S. M. Inductive or deductive? Research by maxillofacial surgeons**. Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons**, v. 47, n. 3, p. 151–152, 2021.

[20] HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

[21] COSTA, F. J. Mensuração e desenvolvimento de escalas: aplicações em Administração. Rio de Janeiro**: Ciência Moderna**, 2011.

[22] BRAIMAH, N.; NDEKUGRI, I. Consultants' perceptions on construction delay analysis methodologies. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 12, p. 1279–1288, 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000096.

[23] SUN, Y.; ARNING, M.; BOCHMANN, F.; BÖRGER, J.; HEITMANN, H. Development and validation of a practical instrument for injury prevention: The Occupational Safety and Health Monitoring and Assessment Tool (OSH-MAT). **Safety and Health at Work**, v. 9, n. 2, p. 140–143, 2018. DOI: 10.1016/j.shaw.2017.07.006.

[24] AKINRADEWO, O. I.; AJIGBAVBOA, C. O.; EDWARDS, D. J.; OKE, A. E. A principal component analysis of barriers to the implementation of blockchain technology in the South African built environment**. Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 20, n. 4, p. 914–934, 2022. DOI: 10.1108/JEDT-05-2021-0292.

[25] ZHANG, Y.; CHEN, W.; GAO, W. A survey on the development status and challenges of smart grids in main driver countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 137–147, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.032.

[26] PRUVOST, H.; SCHERER, R. J. Analysis of risk in building life cycle coupling BIM-based energy simulation and semantic modeling. **Procedia Engineering**, v. 196, p. 1106–1113, 2017. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.08.068.