

Especificação de indicadores no contexto do Sistema Nacional de CT&I

João Luiz da Silva Motta

Bacharelado em Ciência da Computação – Universidade Federal Rural de Pernambuco
(UFRPE) – 52171-900 – Recife – PE – Brasil

joao.luiz.7991@gmail.com

Resumo. *O uso estratégico de dados permite aos governos criar condições para antecipar as necessidades públicas, melhorar a oferta e qualidade dos serviços públicos, aumentar a eficácia dos gastos, aprimorar a implementação de políticas públicas, bem como avaliar seu próprio desempenho. Neste sentido, os indicadores se destacam como ferramentas essenciais para medir e monitorar os resultados e impactos de políticas públicas baseadas em evidências. No contexto do complexo Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), existem iniciativas de diversas organizações que publicam indicadores a partir da agregação de dados de múltiplas fontes, envolvendo formação, dispêndios, produção científica e tecnológica, inovação, entre outros. Entretanto, cada organização utiliza metodologia própria e não há um processo padronizado para orientar entes do sistema nacional de CT&I, como Instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) e Fundações de Amparo à Pesquisa (FAP), interessados em monitorar e avaliar políticas de CT&I a partir de indicadores objetivos, comparáveis e replicáveis. Este estudo buscou então fazer uma análise das principais iniciativas nacionais para mapear o processo necessário para especificar indicadores de CT&I, envolvendo as etapas de levantamento, sistematização, validação, publicação e monitoramento. Além disso, foi produzido um Catálogo dos Indicadores de CT&I e, finalmente, foi proposta uma ontologia, por meio da linguagem OML (Ontological Modeling Language), para formalizar e padronizar a especificação dos indicadores catalogados. Os resultados deste trabalho contribuem em sistematizar a harmonização e permitir a integração de indicadores de CT&I em plataformas digitais de inteligência estratégica, portais de dados abertos e grafos do conhecimento, fortalecendo assim a transparência, o monitoramento e a avaliação de políticas de CT&I no Brasil.*

Palavras-chave. *Indicadores; CT&I; Processo; Catálogo; Ontologia; Política Pública.*

Abstract. *This study addresses the publication of Science, Technology and Innovation (STI) indicators in Brazil in the context of data-driven government, where the strategic use of data supports anticipating public needs, improving the quality of public services, increasing spending efficiency, strengthening policy implementation, and assessing governmental performance. Indicators are therefore key instruments for measuring and monitoring evidence-based public policies. Within Brazil's complex National STI System, multiple organizations publish indicators by aggregating data from diverse sources, covering areas such as education and training, R&D expenditures, scientific and technological output, and innovation. However, each organization adopts*

its own methodology and there is no standardized process to guide STI stakeholders—such as Science and Technology Institutions (STIs/ICTs) and Research Support Foundations (FAPs)—seeking objective, comparable, and replicable indicators for monitoring and evaluation. To address this gap, this work analyzes major national initiatives to map a reference process for specifying STI indicators, structured into data collection, systematization, validation, publication, and monitoring stages. In addition, an STI Indicators Catalog was compiled, and an ontology was proposed using the Ontological Modeling Language (OML) to formalize and standardize the specification of the cataloged indicators. The results support harmonization and enable the integration of STI indicators into strategic intelligence platforms, open data portals, and knowledge graphs, strengthening transparency, monitoring, and evaluation of STI policies in Brazil.

Keywords. *Indicators; STI; Process; Catalog; Ontology; Public Policy.*

1. Introdução

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2019), a abundância de tecnologias e dados digitais está transformando rapidamente a economia e a sociedade, trazendo implicações significativas para os governos. Neste cenário, a utilização de forma estratégica dessas informações permite antecipar necessidades públicas, melhorar serviços, otimizar gastos e avaliar projetos, e, para isso, organizações públicas precisam reconhecê-los como ativos estratégicos, superar barreiras no compartilhamento e reutilização, e integrá-los ao planejamento, execução e monitoramento de políticas.

No setor público, a transformação digital não se limita à digitalização de serviços existentes, mas envolve incorporar tecnologias digitais e o uso estratégico de dados como parte integrada das estratégias de modernização do Estado, com foco em criar valor público e tornar políticas e serviços mais eficazes. Nesse sentido, essa transformação digital exige a transição de um modelo de governo eletrônico, centrado em digitalizar serviços analógicos, para o paradigma de governo digital, no qual tecnologias e dados desempenham papel central na modernização do setor público e na geração de valor (OECD, 2020; OECD, 2014).

Um Governo Digital promove um ecossistema que conecta governo, academia, iniciativa privada, terceiro setor e cidadãos, facilitando o acesso a dados e serviços (OECD, 2014), e seu foco está na aplicação dessas informações em três dimensões principais: Planejamento e antecipação de necessidades públicas, como demandas por serviços e benefícios, alocação de recursos, e riscos e eventos que exigem resposta do Estado; Execução, visando melhorias em políticas e serviços públicos; e Avaliação e monitoramento, para mensurar o impacto e monitorar o desempenho destas políticas e serviços (OECD, 2020). Ao integrar esses dados com tecnologias emergentes, o governo digital não apenas moderniza a administração pública, mas também promove inovação e adaptabilidade para atender às demandas e gerar benefícios à sociedade.

Diante deste contexto, indicadores são ferramentas essenciais para medir e monitorar o desempenho e o impacto das políticas públicas baseadas em evidências, viabilizando a implementação do governo digital em organizações governamentais

(Garcia-Zamora *et al.*, 2023). De acordo com Hoornweg *et al.* (2007), para ser considerado relevante, um bom indicador necessita de algumas características: deve ser Objetivo (bem definido); Relevante (diretamente relacionado aos objetivos); Mensurável e replicável (quantificável); Auditável; Estatisticamente representativo; Comparável (tanto ao longo do tempo quanto entre diferentes entidades); Flexível (pode acomodar melhorias contínuas); Potencialmente preditivo; Eficaz (usado na tomada de decisão e na gestão); Econômico; Interrelacionado (considerando aspectos sociais, ambientais e econômicos); e Consistente e sustentável ao longo do tempo.

Segundo Gokhberg *et al.* (2013), considerando as políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), os indicadores podem ser categorizados em seis dimensões: Contexto (ambientes socioeconômico e político-ecológico, e incentivos); Insumos (recursos necessários e financiamento público); Processo (como parcerias e transferência de tecnologia); Resultados (conhecimentos tácito e externalizado, tecnologias incorporadas, e inovações); Impacto (econômicos, sociais e outros diretos e/ou indiretos); e Ciclo de desenvolvimento (como propriedade intelectual, e comercialização e disseminação de tecnologia). Ainda, é importante que, de forma geral, indicadores também venham a considerar aspectos mais centrados na sociedade, como citações acadêmicas em políticas públicas (Marcovitch *et al.*, 2023).

No Brasil, a produção e a publicação de indicadores de CT&I envolve uma cadeia distribuída de atores e sistemas que agregam dados de diferentes fontes e permitem análises do Sistema Nacional de CT&I, o qual é composto por Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs), entidades de gestão pública e empresas, além de fontes de financiamento e instrumentos de apoio que sustentam a execução de políticas de CT&I. Entre essas fontes, destaca-se o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT)¹, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI², voltado a financiar a inovação e o desenvolvimento científico e tecnológico no país, com operacionalização pela Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP³.

Apesar da relevância, a publicação de indicadores de CT&I entre os diferentes órgãos do ecossistema nacional costuma resultar em produtos informacionais heterogêneos, com diferentes estruturas conceituais, definições operacionais e padrões de metadados, além de variações em formato (por exemplo, relatórios em PDF, planilhas e páginas web), periodicidade, recorte territorial e unidade de medida. Essa heterogeneidade afeta a rastreabilidade do ciclo de vida do indicador, a comparabilidade histórica e entre instituições e, principalmente, a interoperabilidade necessária para reuso em iniciativas de dados abertos e em soluções digitais orientadas por dados (OECD, 2020).

Uma forma de representar indicadores, para diferentes propósitos, é através de ontologias (Fox, 2015; Shachnev & Karpenko, 2018; Freitas Jr *et al.*, 2018, Lopez-Rodriguez & Ceballos, 2022), que consistem de representações explícitas e compartilhadas de conhecimento que combinam conceitos, relações e propriedades para reduzir vaguidade e imprecisões em indicadores, promovendo semântica e

¹ [FNDCT — Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação](#)

² [MCTI — Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação](#)

³ [Finep](#)

contextualização (Freitas Jr *et al.*, 2018), e diferem de vocabulários simples ao incluir definições formais e restrições computacionais (Fox, 2015).

A utilização de ontologias traz algumas vantagens no contexto de organização de informações, como: visualização e comunicação do domínio em questão; raciocínio automatizado sobre vocabulários (e indivíduos que devem estar em conformidade com estes); e integração de dados de diversos formatos e residentes em diferentes fontes. Dessa forma, as ontologias se consolidam como uma solução robusta para qualquer problema de gestão do conhecimento, graças a sua capacidade para padronizar diferentes informações, de diferentes formatos, incluindo processos completos.

Neste cenário, o problema de pesquisa deste trabalho pode ser sintetizado da seguinte forma: “*como padronizar o processo de especificação de indicadores de CT&I no contexto nacional, de modo a reduzir a heterogeneidade conceitual e de metadados entre órgãos e viabilizar rastreabilidade, comparabilidade e interoperabilidade para integração e reuso em plataformas digitais e dados abertos?*”.

Como alternativa de resposta a esse problema, o objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver uma ontologia que represente e padronize um recorte do conhecimento relativo ao processo de publicação de indicadores de CT&I no Brasil; Já como objetivos específicos, pretende-se: (i) caracterizar e comparar como órgãos do ecossistema brasileiro de CT&I publicam indicadores, identificando convergências e divergências conceituais e de metadados; (ii) definir um núcleo básico de metadados e conceitos para descrição de indicadores e de seu ciclo de vida até a publicação, capaz de acomodar variações terminológicas entre órgãos; (iii) especificar um processo de referência para o ciclo de vida para publicação de indicadores de CT&I e documentá-lo de forma padronizada; e (iv) produzir e disponibilizar uma ontologia modular que formalize as informações acerca de parte do processo, e demonstrar sua viabilidade por meio da instanciação de exemplos e checagens de consistência.

Em conjunto, os objetivos específicos operacionalizam a resposta ao problema de pesquisa ao atacar, de forma encadeada, as causas da heterogeneidade observada na publicação de indicadores de CT&I, visto que o objetivo (i) contribui ao explicitar convergências e divergências conceituais e de metadados entre iniciativas, evidenciando o que precisa ser harmonizado; o objetivo (ii) contribui ao estabelecer um núcleo básico de conceitos e metadados para garantir comparabilidade e rastreabilidade; e o objetivo (iii) contribui ao propor um processo de referência que orienta, de ponta a ponta, como os indicadores devem ser especificados até sua publicação. Por fim, o objetivo (iv) consolida a solução técnica ao materializar esse núcleo e esse processo em uma ontologia modular, com semântica formal, possibilitando integração no padrão *Resource Description Framework* - RDF⁴ e na *Web Ontology Language* - OWL (Hitzler et al., 2012), padrão do World Wide Web Consortium - W3C⁵, e o uso de raciocínio para verificar consistência e tornar conhecimento implícito em explícito, além de permitir consultas reprodutíveis por SPARQL⁶ 1.1 sobre indicadores, metadados e etapas do ciclo de publicação, inclusive combinando dados de diferentes fontes em um grafo de conhecimento. Dessa forma, a ontologia agrega valor por funcionar como padrão

⁴ <https://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/>

⁵ <https://www.w3.org/OWL/>

⁶ <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>

computável e reutilizável que reduz ambiguidades e viabiliza interoperabilidade e reuso por diferentes atores do Sistema Nacional de CT&I, em linha com o caráter de pesquisa orientada a artefatos, na qual o conhecimento sobre o problema e sua solução é alcançado pela construção e aplicação do artefato.

Desta forma, este trabalho analisou publicações de indicadores de CT&I de algumas das principais organizações nacionais, de modo a identificar o escopo desses dados, bem como os atores envolvidos no processo da publicação e sua devida contribuição ao indicador em questão, visando a proposição da modelagem de um processo padronizado, e da construção de um catálogo unificado de indicadores publicados em: MCTI⁷, Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação - OCTI⁸ (desenvolvido pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE), Observatório da Indústria do Sistema FIEC⁹ (Federação das Indústrias do Estado do Ceará), Índice Brasil de Inovação e Desenvolvimento - IBID¹⁰ e no Centro de Liderança Pública - CLP¹¹.

Essas iniciativas foram escolhidas por sua relevância e representatividade no ecossistema nacional, entendida neste trabalho como a combinação de: (i) abrangência e capacidade de agregação de dados de múltiplas fontes para descrever o sistema de CT&I; (ii) institucionalidade e autoridade do produtor (órgão federal, autarquia federal, observatório reconhecido) na difusão de indicadores; (iii) regularidade e atualização das séries publicadas; e (iv) potencial de reuso, dado pela disponibilidade de metadados e, quando aplicável, formatos reutilizáveis e dados abertos. Nesse sentido, o MCTI foi incluído por publicar os “Indicadores Nacionais de CT&I” (BRASIL, 2025), com visão global do sistema e atualizações regulares, inclusive no contexto de dados abertos. O OCTI/CGEE foi selecionado por atuar como observatório voltado ao monitoramento e produção de boletins e recortes temáticos de CT&I, voltados a subsidiar agendas e decisões. O Observatório da Indústria (FIEC) foi considerado por oferecer um índice recorrente que monitora o desempenho inovador das unidades federativas e explicita dimensões e indicadores usados no diagnóstico. O IBID (INPI, 2025) foi incluído por ser um indicador sintético oficial que mapeia o desempenho dos ecossistemas locais de CT&I nas 27 UFs e regiões, orientando políticas públicas. Por fim, o CLP foi incorporado por consolidar rankings baseados em dados oficiais e indicadores estruturados em pilares, incluindo inovação, oferecendo comparabilidade subnacional.

Além desta introdução, este artigo está organizado da seguinte forma: a fundamentação teórica (Seção 2) apresenta os trabalhos relacionados que serviram como base para esta pesquisa; o método (Seção 3) descreve as etapas adotadas para mapear o processo visando a publicação de indicadores de CT&I, propor a modelagem de um processo padronizado, construir o catálogo de indicadores e desenvolver a ontologia; e as considerações finais (Seção 4) discutem os principais resultados, limitações e possibilidades de trabalhos futuros.

⁷ [Indicadores CT&I — Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação](#)

⁸ [OCTI](#)

⁹ [Observatório da Indústria](#)

¹⁰ [Índice Brasil de Inovação e Desenvolvimento \(IBID\)](#)

¹¹ [Ranking de Competitividade](#)

2. Fundamentação Teórica

2.1. Iniciativas de CT&I no Brasil

No contexto brasileiro, a produção e a difusão de indicadores de CT&I ocorre por meio de diferentes iniciativas que consolidam séries e recortes analíticos para apoiar monitoramento e avaliação de políticas, onde, neste cenário, o MCTI mantém a publicação de “Indicadores Nacionais de CT&I” (BRASIL, 2025), que agrega dados de múltiplas fontes para oferecer uma visão global do sistema nacional, permitindo análises e comparações e disponibilizando bases também no escopo de dados abertos. Já o OCTI/CGEE atua como um observatório que monitora tendências e produz indicadores e boletins temáticos voltados a subsidiar decisões e avaliações no ambiente de CT&I, incluindo publicações como “Indicadores da Geografia da CT&I no Brasil” (CGEE, 2021).

Além dessas consolidações nacionais, há iniciativas com recortes sintéticos e comparativos. Um exemplo é relacionado ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI, que publica o “IBID” (INPI, 2025), uma produção sintética que mapeia o desempenho dos ecossistemas locais de CT&I nas unidades federativas e regiões. No âmbito setorial e regional, o Observatório da Indústria (FIEC) disponibiliza o “Índice de Inovação dos Estados” (CNI; FIEC; Observatório da Indústria Ceará, 2025), que organiza séries atualizadas e indicadores associados à inovação e ao desenvolvimento. Já o CLP publica o “Ranking de Competitividade” (CLP, 2025), construído com base em dados oficiais e estruturado em pilares que incluem dimensões relacionadas à inovação, oferecendo uma leitura comparativa subnacional apoiada em indicadores. Em conjunto, essas iniciativas evidenciam a diversidade de formatos de publicação e de estruturas de organização de indicadores (portais, relatórios, índices sintéticos, planilhas), bem como variações de conceitos e metadados, o que reforça a necessidade de uma camada semântica padronizada para rastreabilidade, integração e reuso dos indicadores de CT&I em plataformas digitais e dados abertos.

No Sistema Nacional de CT&I, além de publicações e índices sintéticos, destacam-se iniciativas de infraestrutura informacional que integram dados do ecossistema de pesquisa e viabilizam análises e indicadores em escala nacional, como o Ecossistema de Informação da Pesquisa Científica Brasileira - BrCris¹², que caracteriza-se como um *Current Research Information System* voltado à integração e à visualização de dados técnico-científicos (pesquisadores, organizações, projetos e resultados), consolidando informações provenientes de múltiplas fontes e apoiando geração de painéis e consultas. Trabalhos recentes descrevem a plataforma e sua arquitetura de integração e análise, além do uso de estratégias de Extrair, Transformar e Carregar - ETL para sincronizar dados e materializá-los como um grafo de conhecimento apoiado por um modelo semântico, reforçando o papel de padrões e modelagem semântica para interoperabilidade e reuso (Silva *et al.*, 2022). Nesse sentido, a literatura do BrCRIS é diretamente relacionada a esta pesquisa por evidenciar, em um sistema nacional, como a padronização de metadados e a formalização

¹² [BrCris](#)

semântica favorecem integração, consistência e exploração de indicadores, alinhando-se ao objetivo deste trabalho de padronizar a especificação/publicação de indicadores de CT&I para reuso em plataformas digitais e grafos de conhecimento.

Embora este trabalho destaque as iniciativas explicitadas acima, existem outros levantamentos estatísticos e plataformas institucionais que subsidiam a produção de indicadores e que também são relevantes no ecossistema brasileiro de CT&I. Um exemplo é a Pesquisa de Inovação (PINTEC)¹³, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, que produz informações para a construção de indicadores nacionais e regionais de inovação empresarial. No âmbito da pós-graduação, a Plataforma Sucupira¹⁴, gerida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, disponibiliza dados e estatísticas diversas. Ainda, existem painéis de dados do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq¹⁵ relacionados ao fomento, bolsas e currículos, além de observatórios e publicações de Fundações de Amparo à Pesquisa - FAPs e outras entidades. Essas iniciativas não foram incluídas como objetos centrais de análise porque o estudo tem caráter de prova de conceito e prioriza iniciativas que (i) consolidam e difundem indicadores em produtos voltados à comparação/monitoramento (relatórios, índices e rankings), (ii) apresentam metadados mínimos e estrutura de divulgação compatível com catalogação, e (iii) representam formatos distintos de publicação (portal nacional, observatório temático, índice sintético e ranking), permitindo derivar um processo de referência e uma ontologia com potencial de generalização. As demais fontes permanecem essenciais no ciclo de vida dos indicadores, especialmente na etapa de levantamento, e vão ser incorporadas em ampliações futuras do catálogo e da ontologia.

2.2. Engenharia do Conhecimento

Sob a perspectiva da Gestão do Conhecimento, esse cenário pode ser entendido como um ciclo em que informações e experiências podem ser convertidas em conhecimento explícito, compartilhado entre os atores e, por fim, ser apropriadas e aplicadas na tomada de decisão a partir de três etapas articuladas do conhecimento: (1) criação e captura, (2) compartilhamento e disseminação, e (3) aquisição e aplicação (Dalkir, 2013; Farnese *et al.*, 2019). Em ambientes distribuídos, surgem lacunas recorrentes que dificultam o funcionamento desse ciclo, especialmente a ausência de padronização conceitual e de metadados, que aumenta ambiguidades, reduz reuso e compromete comparações e integração entre fontes.

2.2.1. Ontologias e Grafos de Conhecimento

Nesse contexto, a Engenharia de Ontologias se apresenta como uma técnica capaz de dar suporte principalmente à etapa de criação e captura do conhecimento, ao formalizar e tornar compartilháveis termos, relações e restrições do domínio, criando uma base semântica reutilizável que favorece interoperabilidade e consistência entre sistemas e publicações (Benjamins *et al.*, 2000; Castro & Barcellos, 2023; Villela *et al.*, 2005).

¹³ <https://pintec.ibge.gov.br/>

¹⁴ [Plataforma Sucupira](#)

¹⁵ [Painéis de Dados](#)

Aplicada ao monitoramento de CT&I, essa formalização permite representar, de modo rastreável, indicadores, seus metadados e seu ciclo de publicação, viabilizando consultas e análises automatizadas, comparações entre instituições e integração em grafos de conhecimento (Hogan *et al.*, 2021), isto é, estruturas em grafo que descrevem entidades de interesse e as conexões entre elas, favorecendo integração de informações provenientes de fontes heterogêneas (Noy *et al.*, 2019), fortalecendo o uso desses indicadores em processos de avaliação e monitoramento de políticas públicas.

O principal objetivo da engenharia de ontologias é desenvolver uma representação de conhecimento que possa ser compartilhada (Fox, 2015) e, ao estruturar adequadamente os termos e axiomas, eles podem ser reutilizáveis em uma ampla gama de aplicações. Com o reuso, pode-se alcançar a interoperabilidade, ou seja, a capacidade de acessar, analisar e integrar dados de fontes diversas, ou seja, é uma solução que chega ao estado da arte visando solucionar, aos poucos, um grande problema de gestão do conhecimento: a ausência de padronização. E esta contribuição é bastante relevante, pois a falta de uma formalização para a estruturação e disseminação de qualquer informação, não só para os indicadores, resulta em inconsistências nos modelos e valores, comprometendo, principalmente, a comparabilidade, limitando sua utilização em estudos mais amplos.

Ontologias podem ser especificadas em diversas linguagens, como OWL e RDF, mas devido a complexidade destas notações, geralmente o desenvolvimento se dá através da *Ontological Modeling Language* - OML¹⁶, que facilita bastante o processo por trazer uma notação mais simples e manipulável, e é uma tecnologia de alta expressividade (Elaasar & Rouquette, 2023), baseada em OWL, que permite que a modelagem, visualização e análise de todo o conhecimento seja formalizado através de ferramentas de apoio, como a Rosetta¹⁷, a qual possui licenciamento livre. A OML combina a capacidade analítica da OWL com uma abordagem mais concisa e amigável ao usuário, oferecendo suporte para modelar conceitos, propriedades e relações de domínios específicos, e a sua utilização contribui para a padronização do conhecimento e para a automação de processos em diversos contextos.

Para exemplificar como se dá a especificação de conceitos, relações e propriedades associadas a indicadores, a Figura 1 ilustra um vocabulário, modelado em OML, para descrever indicadores de CT&I em geral. O lado esquerdo da Figura 1 corresponde à representação gráfica, enquanto o lado direito exibe um trecho da representação textual. No exemplo, Objetivo, Contribuição e Indicador são conceitos, e cada conceito pode ter um conjunto de propriedades. O Indicador possui uma fórmula, o valor atual, o valor alvo, um nome, um *status* e uma finalidade, a qual pode ser uma maximização, minimização ou equilíbrio. Quanto aos relacionamentos, um Objetivo está associado ao Indicador através da relação “monitoradoPor”, enquanto que Contribuição tem o relacionamento “contribuiPara” com o conceito Objetivo.

¹⁶ [Ontological Modeling Language v2](#)

¹⁷ [GitHub - opencaesar/oml-rosetta: An Eclipse IDE that supports OML natively](#)

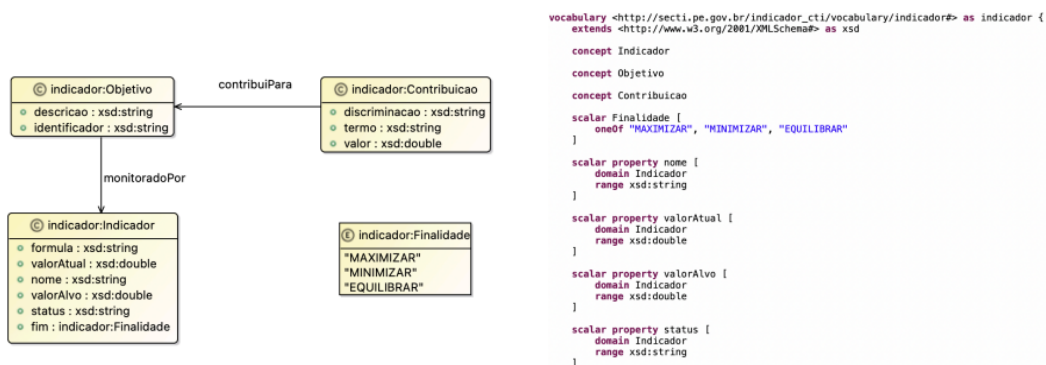


Figura 1 - Exemplo de vocabulário de CT&I em OML. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

2.3. Trabalhos Relacionados

Neste cenário, o uso de ontologias para especificação de indicadores para diversas finalidades mostrou-se ser uma abordagem eficaz, como, por exemplo, para os que são baseados na norma ISO 37120¹⁸, com o intuito de mensurar a performance de cidades inteligentes (Fox, 2015). Neste cenário, a Ontologia de Indicadores Globais de Cidades - GCIO (Fox, 2015) é utilizada para padronizar a publicação e a análise de indicadores urbanos associados à ISO 37120, explicitando definições, conceitos, relações e metadados necessários para viabilizar comparações automatizadas e interoperabilidade entre diferentes cidades. Além disso, a GCIO busca suprir a ausência de um padrão para publicação desses indicadores na Web Semântica, permitindo que seus valores e descrições sejam disponibilizados de forma processável por máquina.

Lopez-Rodriguez e Ceballos (2022) abordam a necessidade de um modelo estruturado para representar indicadores cientométricos, motivado pela obtenção de informações a partir de fontes heterogêneas e distribuídas e pela dificuldade de manter consistência e comparabilidade na descrição desses indicadores. Para enfrentar esse problema, é proposta uma modelagem semântica baseada na ontologia Statistical Data and Metadata eXchange - SDMX (SDMX, 2025), padrão voltado à descrição e intercâmbio de dados estatísticos e seus metadados, permitindo representar indicadores de forma padronizada, processável por máquina e apta à integração e reuso. Como demonstração, os autores realizam um estudo de caso com indicadores institucionais, avaliando benefícios de armazenamento e consulta em contexto de dados ligados, com foco em descoberta, consulta e composição de indicadores, que são desafios análogos aos deste trabalho, ainda que aqui o foco esteja na especificação dos indicadores no contexto do Sistema Nacional de CT&I.

Já em Santos *et al.* (2017), os autores abordam a padronização e organização de indicadores por meio de um Grafo de Conhecimento (KG, do inglês *Knowledge Graph*), visando facilitar a extração, organização e visualização de indicadores urbanos, bem como solucionar o problema da falta de estruturação e integração de dados utilizados para medir diferentes aspectos, permitindo a geração automática de painéis gráficos (*dashboards*) para tomada de decisão. Um KG é uma representação em grafo de entidades e suas relações, geralmente construída a partir de dados heterogêneos e

¹⁸ [ISO 37120:2018 - Sustainable cities and communities — Indicators for city services and quality of life](https://www.iso.org/standard/72431.html)

enriquecida por um esquema semântico que explicita significado e contexto. Em implementações na Web Semântica, costuma ser expresso como um grafo no padrão RDF (conjunto de triplas sujeito, predicado e objeto) e consultado por linguagens de consulta como SPARQL, o que favorece descoberta, integração e exploração de dados em múltiplas fontes (Hogan *et al.*, 2021).

Nesse cenário, a ontologia atua como uma camada de modelagem que define os conceitos e propriedades do domínio (o vocabulário e suas restrições), enquanto o KG materializa as instâncias e ligações entre dados reais, permitindo interoperabilidade semântica e, em muitos casos, suporte a inferências e análises automatizadas, o que reforça o papel dos KGs como infraestrutura para integração e apoio à decisão em vários contextos, especialmente para cenários urbanos e governamentais. Existem levantamentos recentes sobre KGs no domínio de cidades inteligentes, que sistematizam integração de dados urbanos, governança, monitoramento e suporte a decisões, como encontrado em Wang *et al.* (2024), e, em termos de uso aplicado, há propostas de sistemas de suporte à decisão em gestão urbana fundamentados em KGs, explorando a organização semântica do domínio para orientar análises e escolhas de intervenção (Wang, 2024; Phua *et al.*, 2024). Além disso, KGs também têm sido combinados com camadas de visualização por meio de dashboards (Santos *et al.*, 2017), evidenciando como a estrutura semântica pode facilitar exploração e consulta de indicadores e metadados.

Por fim, Lavbic & Krisper (2018) apresentam facilitações para a construção de ontologias no geral, as quais se resumem a um método sistemático que visa contribuir com o desenvolvimento e refinamento desses modelos, destacando a importância da avaliação contínua durante o processo de modelagem, cujo foco principal é garantir que as ontologias resultantes sejam coerentes, precisas e úteis, minimizando problemas como inconsistências e ambiguidades. Nesse sentido, o estudo introduz um processo de avaliação incremental que visa garantir que uma ontologia se mantenha alinhada às necessidades do domínio, através de métricas e testes contínuos para identificar e corrigir falhas semânticas, sendo uma abordagem que pode ser aplicada para garantir que a ontologia dos indicadores de CT&I seja construída de forma robusta, garantindo consistência e usabilidade.

No contexto brasileiro, os trabalhos do BrCris são relacionados a esta pesquisa por evidenciarem, no contexto brasileiro, uma infraestrutura nacional que integra fontes heterogêneas por meio de modelagem semântica e grafo de conhecimento, viabilizando consultas, dashboards e geração/uso de indicadores, que são objetivos convergentes ao propósito desta ontologia de padronizar a especificação/publicação de indicadores de CT&I para interoperabilidade e reuso. Nesse cenário, Dias *et al.* (2023) descrevem o BrCris como uma plataforma voltada à integração, análise e visualização de dados técnico-científicos, reforçando a necessidade de organização e interoperabilidade para viabilizar consultas e indicadores em escala nacional. Já Pinto *et al.* (2022) discutem o BrCris como fonte de dados para estudos sobre pesquisa, evidenciando seu papel como infraestrutura de consolidação e exploração de dados de CT&I, com potencial para apoiar análises e recomendações em diferentes recortes.

Em termos de arquitetura e implementação, Silva *et al.* (2022) apresentam uma estratégia de ETL para integrar a plataforma LA Referencia e a ontologia VIVO,

permitindo que dados heterogêneos sejam sincronizados e visualizados em forma de grafo de conhecimento com base em um modelo semântico, aproximando a solução de práticas de Web Semântica para integração e exploração de informações. Já Segundo *et al.* (2022) discutem o BrCris como ferramenta de apoio à Ciência Aberta, enfatizando a interoperabilidade entre sistemas e a agregação de fontes nacionais e internacionais para disponibilização e visualização de indicadores e estatísticas. Por fim, Mendes *et al.* (2023) apresentam um estudo de caso de integração do Observatório de CT&I em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz - Fiocruz ao BrCris, evidenciando a aplicabilidade da infraestrutura para integração de observatórios e geração de indicadores em domínios específicos.

Em conjunto, esses trabalhos reforçam que iniciativas nacionais baseadas em integração de múltiplas fontes e modelagem semântica têm potencial para reduzir heterogeneidade, aumentar reuso e sustentar consultas e indicadores reprodutíveis, o que se alinha ao objetivo desta pesquisa de padronizar a especificação/publicação de indicadores de CT&I por meio de uma ontologia.

Diante deste cenário, a criação de uma ontologia específica em um contexto voltado ao monitoramento e avaliação de políticas públicas torna-se uma contribuição relevante, considerando que a técnica possibilita uma representação do conhecimento (neste caso, o processo de publicação de indicadores por diferentes órgãos do ecossistema) de maneira padronizada, permitindo, entre outros benefícios, a comparação tanto ao longo do tempo, quanto entre organizações e estados dos indicadores, os quais mensuram o progresso e o alcance dos objetivos das políticas públicas.

3. Ontologia do Processo de Especificação de Indicadores de CT&I

3.1. Metodologia de Desenvolvimento

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa e procedimentos documentais, uma vez que se baseia na análise de portais, publicações e materiais metodológicos para caracterizar como indicadores de CT&I são produzidos e divulgados e para descrever suas variações conceituais e de metadados (Prodanov & Freitas, 2013; Gil, 2002; Creswell, 2014; Sá-Silva et al., 2009). Além disso, o estudo se enquadra como “pesquisa orientada a artefatos”, pois o principal resultado é a construção de um artefato computacional, que consiste numa ontologia, e sua verificação se dá por meio de uma prova de conceito, demonstrando a viabilidade de empregar esse modelo semântico para padronizar o processo de publicação de indicadores de CT&I no contexto nacional a partir de um recorte controlado de iniciativas do ecossistema (Hevner *et al.*, 2004; Wieringa, 2014).

A análise foi conduzida com base em cinco iniciativas e órgãos selecionados por sua relevância e representatividade na produção e difusão de indicadores: MCTI, responsável por consolidar e disponibilizar Indicadores Nacionais de CT&I; OCTI/CGEE, que monitora e divulga informações e análises sobre produção científica, tecnológica e inovação; Observatório da Indústria (FIEC), que publica estudos e indicadores econômicos e setoriais, incluindo iniciativas voltadas à inovação; IBID, índice oficial do INPI que sintetiza o desempenho dos ecossistemas locais de CT&I; e CLP, por meio de rankings baseados em indicadores oficiais que incluem dimensões

relacionadas à inovação. Neste enquadramento, o objetivo não é esgotar o universo de iniciativas existentes, mas validar a abordagem e produzir um modelo que possa ser generalizado e reutilizado por outros atores do sistema nacional de CT&I.

Para reduzir subjetividade no recorte e tornar explícita a lógica de escolha, foi realizada uma triagem de iniciativas potenciais de produção/difusão de indicadores de CT&I com base em critérios de inclusão: (C1) papel de difusão/consolidação de indicadores (não apenas microdados ou registros administrativos), (C2) abrangência e comparabilidade (nacional ou subnacional comparativa), (C3) disponibilidade pública e documentação (metodologia/nota técnica e descrição), (C4) metadados mínimos e potencial de reuso (séries, unidades e referência ao artefato), (C5) periodicidade/atualização, (C6) diversidade de formatos de publicação, buscando contemplar portal nacional, observatório temático, índice sintético e ranking, (C7) facilidade de acesso aos dados e (C8) maturidade da iniciativa, sendo classificadas como Consolidada (≥ 10 anos), Intermediária (5-9 anos) ou Recente (≤ 4 anos). Nesse enquadramento, o conjunto principal incluiu MCTI (BRASIL, 2025), OCTI/CGEE (CGEE, 2021), IBID/INPI (INPI, 2025), Índice de Inovação dos Estados (CNI; FIEC; Observatório da Indústria Ceará, 2025) e o Ranking de Competitividade (CLP, 2025). Outras iniciativas foram consideradas no levantamento inicial, mas não integraram o grupo principal por se enquadrarem como fontes primárias, como o PINTEC, ou plataformas administrativas/setoriais, como a Plataforma Sucupira, ou por terem escopo estadual específico, como é o caso da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP¹⁹. O Quadro 1 sintetiza os critérios e a decisão de inclusão/exclusão.

Quadro 1 – Triagem de iniciativas para compor o grupo de análise

Legenda: A = atende | P = atende parcialmente | N = não atende

Iniciativa/órgão	Tipo	C1 Difusão	C2 Abrang.	C3 Doc.	C4 Metad.	C5 Atual.	C6 Formatos	C7 Acesso	C8 Maturidade	Decisão
MCTI – Indicadores Nacionais de CT&I	Difusor	A	A	A	A	A	A	A	Interm./Cons. (dados abertos 2016++)	Incluída
OCTI/CGEE – boletins/recortes	Difusor	A	A	A	P	A	P	P	Interm. (2021+)	Incluída
INPI – IBID	Difusor	A	A	A	A	A	A	A	Recente (2024+)	Incluída
FIEC/CNI – Índice de Inovação dos Estados	Difusor	A	A	A	P	A	A	A	Interm. (2018+)	Incluída
CLP – Ranking de Competitividade (Estados)	Difusor	A	A	A	P	A	A	P	Cons. (2011+)	Incluída
FAPESP – Indicadores de CT&I (SP)	Difusor (estadual)	A	P	A	A	A	A	A	Cons. (1998/2011+)	Fora (escopo estadual)
IBGE – PINTEC	Fonte	N	A	A	P	A	P	A	Cons. (2000+)	Fora (fonte primária)
CAPEX – Plataforma Sucupira	Fonte	P	A	A	P	A	P	P	Cons. (2014+)	Fora (base)
CNPq – Painéis de Dados	Fonte/Difusor	P	A	A	A	A	A	A	Rec./Interm. (painéis rec.) (séries 2005+)	Fora (extensão)

C1 Difusão/consolidação | C2 Abrangência/Comparação | C3 Documentação/metodologia | C4 Metadados p/ reuso | C5 Atualização | C6 Formatos/Interfaces | C7 Facilidade de acesso aos dados | C8 Tempo de atividade no SNCTI

Quadro 1 - Triagem de iniciativas para compor o grupo de análise. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O desenho metodológico foi estruturado em três etapas, que compõem um encadeamento lógico de abstração e formalização: (i) modelagem do processo de publicação de indicadores, (ii) construção do catálogo de indicadores e metadados e (iii)

¹⁹ [FAPESP](https://www.fapesp.br/)

desenvolvimento da ontologia. Os procedimentos serão apresentados a seguir, enquanto os artefatos e evidências produzidos serão apresentados na seção de resultados.

A primeira etapa teve caráter exploratório e documental, baseada na análise dos portais, publicações e materiais metodológicos das cinco iniciativas selecionadas. A partir desse levantamento, foram identificadas as atividades recorrentes que antecedem e culminam na publicação de um indicador de CT&I. Embora cada iniciativa apresente particularidades na forma de coletar, organizar e disponibilizar suas séries históricas, a análise comparativa permitiu abstrair um conjunto de atividades comuns e estabelecer um processo de referência, visando direcionar novas iniciativas por atores do ecossistema nacional de CT&I.

Para representar formalmente o processo, adotou-se a notação *Business Process Model and Notation* - BPMN²⁰, por ser um padrão internacional que provê uma notação compreensível tanto para analistas e gestores quanto para equipes técnicas responsáveis por operacionalização e monitoramento, e que contribui para reduzir ambiguidades na comunicação do fluxo, explicitando eventos, tarefas, decisões e responsabilidades, e favorece a reutilização do processo como referência para outras organizações do ecossistema.

A segunda etapa teve como objetivo transformar a diversidade dos achados das iniciativas analisadas em um catálogo unificado de indicadores e metadados associados. Para tanto, foi realizada uma análise dos portais *web* e materiais de divulgação de tais iniciativas, a fim de investigar os indicadores efetivamente publicados e registrar, para cada um deles, um conjunto mínimo de informações descritivas que permitisse a rastreabilidade e o reuso futuro. Essa decisão dialoga com recomendações adotadas na gestão de dados e metadados, que enfatizam que a utilidade de dados publicados depende da presença de metadados suficientes e de descrições que favoreçam a interoperabilidade e a reutilização, alinhando-se a algum padrão de catalogação e disseminação, como o *Data Catalog Vocabulary* (DCAT), vocabulário RDF recomendado pelo W3C para descrever catálogos de dados e facilitar interoperabilidade e reuso de metadados na Web (W3C, 2024).

Para operacionalizar a consolidação dos indicadores de CT&I, antes da extração foi definido o esquema mínimo de metadados para servir como a estrutura básica: nome do indicador, descrição, categoria ou tema, unidade ou métrica, fonte, periodicidade de atualização e referência ao artefato de publicação. Foi então adotada uma estratégia de mapeamento entre o que cada iniciativa oferecia a essa estrutura básica, mas preservando informações adicionais quando encontradas.

A última etapa utilizou como insumos diretos os dois artefatos produzidos nas etapas anteriores: (i) a modelagem do processo de publicação de indicadores e (ii) o catálogo de indicadores e metadados associados como base para o desenvolvimento da ontologia, que foi implementada em OML no ambiente Rosetta.

Por último, é importante salientar que, por ter uma natureza de prova de conceito, este trabalho limita-se em especificar apenas uma parcela do catálogo completo de indicadores, das cinco iniciativas analisadas, na ontologia.

²⁰ [BPMN.org](https://www.bpmn.org/)

3.2. Resultados

3.2.1. Modelagem do Processo de Publicação de Indicadores de CT&I

Como resultado, a Figura 2 apresenta o fluxo básico em BPMN²¹, composto por cinco atividades a serem detalhadas a seguir.

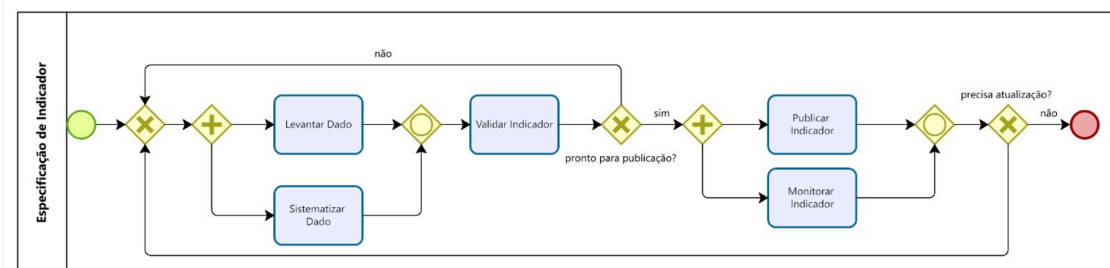


Figura 2 - Fluxo da Publicação dos Indicadores de CT&I no Brasil. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A primeira atividade concentra o levantamento de dados. Neste caso, organizações como MCTI, CGEE, FIEC, INPI e CLP fazem parte dos principais agregadores de dados de CT&I no Brasil, dentre muitos outros. Tais dados são oriundos de levantamentos específicos como a PINTEC, do IBGE; bases de dados primárias como a Plataforma Sucupira da pós-graduação e Scopus²²/Web of Science²³ das publicações científicas; relatórios e observatórios das FAPs dos estados e iniciativas internacionais, como o *Main Science and Technology Indicators* da OECD²⁴. Atualmente, devido a pluralidade massiva de fontes de informações, esse levantamento de dados ocorre de forma descentralizada e multipolar, o que leva a diferenças metodológicas e temporais entre os indicadores de CT&I propostos. A atividade de “Levantar Dado” marca o início do processo que culmina na publicação de um indicador de CT&I, onde cada organização acessa diferentes fontes de dados a fim de se obter informações relevantes o suficiente para consolidar metadados essenciais para, no futuro, contextualizar o que pode vir a ser um indicador de fato.

Em paralelo ocorre a sistematização, atividade na qual cada organização aplica metodologias próprias alinhadas a diretrizes internacionais de mensuração, como o Manual Frascati (OECD, 2015) e o Manual Oslo (OECD; EUROSTAT, 2018), para padronizar os dados e agrupá-los em temas, a depender da natureza do indicador (P&D, inovação, etc.). Na atividade de “Sistematizar Dado” o foco passa a ser em transformar (e não mais coletar) dados brutos em indicadores de CT&I consistentes, replicáveis e comparáveis. No contexto nacional, destacam-se o MCTI e o CGEE como os principais agregadores de dados para o sistema nacional de CT&I.

Uma vez que os metadados foram devidamente levantados e o dado foi categorizado, o fluxo segue para a avaliação e qualidade, contemplando revisões

²¹ Disponível em: [especificacao-indicadores.zip](https://www.bpmn.io/)

²² <https://www.scopus.com/>

²³ <https://www.webofscience.com/>

²⁴ [OECD Data Explorer](https://data.oecd.org/)

técnicas, consistência de séries e documentação metodológica. A atividade “Validar Indicador” precede a publicação em si e, basicamente, gira em torno de um processo de garantia da qualidade, que pode ser interna, feita por técnicos especializados da própria organização, ou externa, realizada por especialistas contratados. Ao final, geralmente, o dado ganha mais uma característica essencial: a nota técnica, visando explicar algum tipo de fórmula e/ou explorar as limitações observadas durante todo o ciclo de vida até então. Essa atividade é essencial, pois incrementa transparência e reprodutibilidade ao dado em questão. Aliás, uma vez que o processo é finalizado com êxito, o dado passa a se tornar um indicador de CT&I de fato, tendo em vista que ele deixa de ser um valor bruto e sem contexto, e passa a ser atrelado a um objetivo, podendo representar, monitorar e avaliar algum “fenômeno” específico, especialmente no contexto da formulação e avaliação de políticas públicas (OECD, 2010; UNESCO UIS, 2014). Caso o dado não seja validado de acordo com as diretrizes da auditoria, a organização precisa fazer um “retrabalho” de levantamento/sistematização do dado em questão.

Depois de validado, o indicador está devidamente pronto para ser publicado, que é o escopo da quarta atividade: publicação e difusão. De forma geral, os indicadores são publicados em portais oficiais, relatórios técnicos, e dados abertos (frequentemente em formatos como PDF, texto e planilhas), a fim de se permitir o *download* e a reutilização. Na atividade de “Publicar Indicador”, o indicador de CT&I passa a receber a característica de “atualização periódica”, essencial para a próxima e última atividade, a de monitoramento/retroalimentação.

Por fim, durante a fase em que o indicador é publicado, paralelamente, ele passa pela quinta atividade, que abrange o monitoramento, uso e retroalimentação, permitindo a reutilização do indicador em plataformas digitais e atividade de avaliação. Na atividade “Monitorar Indicador”, o indicador de CT&I passa a alimentar relatórios de desempenho, planos de inovação e estratégias, contribuindo, desse modo, com uma gestão pública baseada em evidências, onde o indicador passa de dado técnico à ferramenta de apoio à decisão pública.

Esse fluxo de atividades serve como base para as etapas seguintes do método, pois orienta tanto a estruturação do catálogo quanto a construção da ontologia, que, juntos, vão auxiliar na formalização do conhecimento.

3.2.2. Construção do Catálogo de Indicadores de CT&I

A Figura 3 apresenta a consolidação dos indicadores de CT&I mais comumente encontrados nas iniciativas analisadas, organizados por categoria.

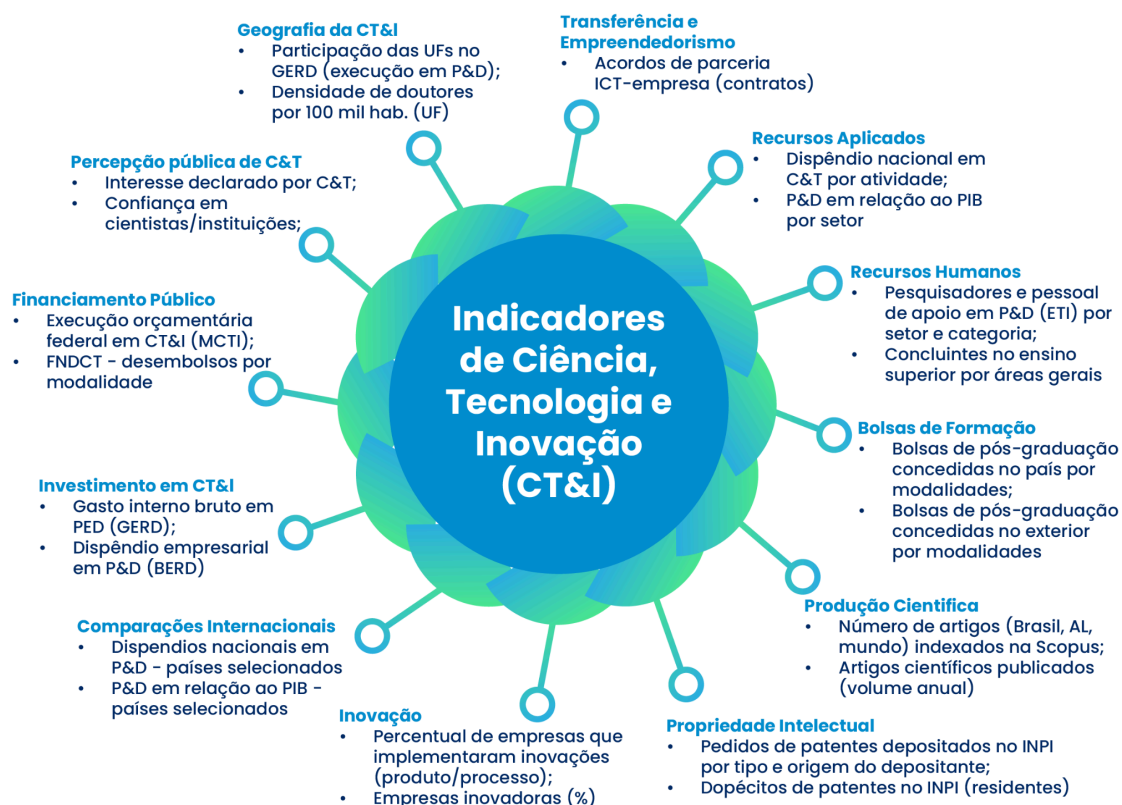


Figura 3 - Consolidação dos indicadores de CT&I por categoria. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A escolha dos indicadores foi feita de forma arbitrária, tendo em vista que o intuito do artefato é apenas ilustrar um recorte do catálogo completo, e, prezando pela legibilidade no trabalho, dois indicadores por categoria foram selecionados.

A extração completa dos indicadores de CT&I foi conduzida de forma manual, catalogando-os em um arquivo estruturado em formato de planilha²⁵ em que cada aba representa uma das cinco iniciativas analisadas. Para cada indicador, foram registrados os metadados da estrutura básica definida e informações complementares. As diferenças entre as iniciativas analisadas, como variações na nomenclatura e nos “temas” de agrupamento para indicadores semanticamente próximos, foram mantidas de modo explícito no catálogo, tanto para preservar fidelidade às fontes quanto para evidenciar as divergências terminológicas e estruturais que motivam a etapa seguinte de formalização da ontologia.

3.2.3. Desenvolvimento da Ontologia de Indicadores de CT&I

O desenvolvimento da ontologia seguiu a organização modular recomendada pela própria linguagem de modelagem, que diferencia módulos voltados à definição de

²⁵ Disponível em: [catálogo-de-indicadores-CTI.xlsx](#)

termos (*vocabularies*) e módulos voltados à descrição de fatos do domínio (*descriptions*).

Um vocabulário é uma “mini-ontologia”, dentro da ontologia completa, que define um conjunto de termos e regras para um determinado domínio, servindo como uma espécie de “esqueleto”. No contexto deste trabalho, o vocabulário serviu para a definição não só das instâncias relacionadas às iniciativas de publicação de indicadores analisadas, mas também para os indicadores envolvidos e seus metadados.

Cada atividade do processo (Levantar, Sistematizar, Validar, Publicar e Monitorar) foi modelada com um vocabulário próprio, tendo em vista que cada uma possui particularidades e apresenta algum “conceito-chave” que se relaciona tanto com a organização de CT&I responsável pelo dado/indicador, quanto com o indicador em si. Além disso, os indicadores também foram modelados através de um vocabulário, no qual cada metadado do catálogo foi representado por propriedades.

Por outro lado, uma descrição é uma ontologia que utiliza as informações oriundas dos vocabulários para descrever instâncias nomeadas em um determinado domínio, preenchendo as propriedades e relações descritas com dados reais. Ou seja, foram utilizados os “esqueletos” definidos para instanciar dados extraídos tanto do catálogo de indicadores, para os indicadores em si, quanto da análise acerca do processo de publicação dos mesmos, permitindo demonstrar como um indicador se conecta às atividades do processo e aos seus metadados.

Para exemplificar, a Figura 4 apresenta a instância do indicador “Dispêndio nacional em C&T por atividade”, indicado na ontologia pelo identificador “IND1”, bem como as entidades associadas a ele durante todo o processo até culminar com a publicação.

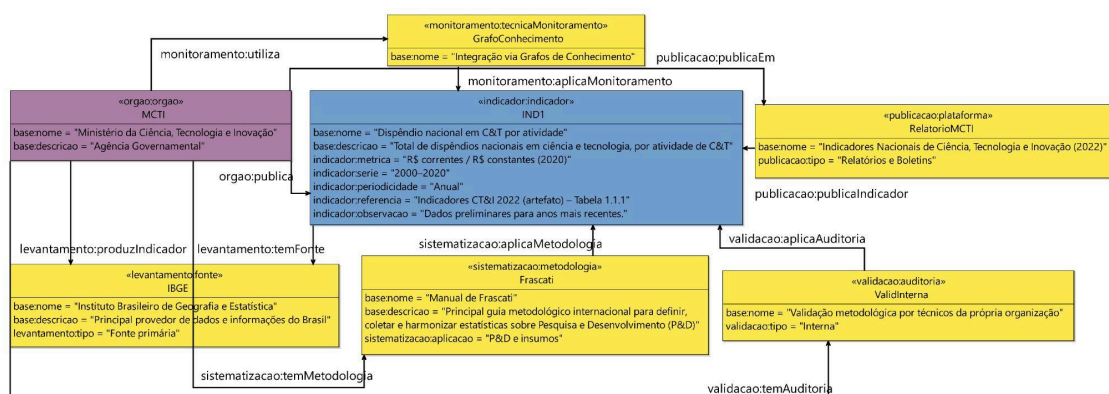


Figura 4 - Modelagem da Descrição do Indicador “Dispêndio nacional em C&T por atividade”. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Figura 4 demonstra apenas um dos indicadores representados na ontologia onde os conceitos “Indicador” e “Órgão” estão sendo representados, em nível de instância, por “Dispêndio nacional em C&T por atividade” e “MCTI”, respectivamente. Além disso, cada conceito se relaciona com um “conceito-chave” relacionado à cada uma das atividades do processo de publicação do indicador em si, desde “Levantar”

(sendo o conceito “Fonte” instanciado por “IBGE”) até “Monitorar” (sendo o conceito “Técnica de Monitoramento” instanciado por “Grafo do Conhecimento”). Finalmente, “Indicador” e “Órgão” se relacionam através de “temFonte”, já que a fonte do indicador, enquanto dado, é uma informação muito importante pertinente ao seu escopo.

Além de organizar e padronizar conceitos e metadados, a ontologia proposta pode ser utilizada como base para a construção de um Grafo de Conhecimento (KG), no qual as instâncias do domínio (indicadores, órgãos publicadores e os conceitos relacionados às atividades do processo) são representadas como um grafo de entidades e relações. Em implementações na Web Semântica, este KG costuma ser expresso no modelo RDF em formato de triplas (sujeito, predicado e objeto), permitindo integrar dados heterogêneos em uma estrutura comum e processável por máquina (Hogan *et al.*, 2021).

Nesse cenário, a ontologia atua como a camada de modelagem que define o vocabulário do domínio (classes, propriedades e restrições), enquanto o KG materializa os fatos e ligações entre dados reais. Essa separação é relevante porque torna possível executar consultas consistentes sobre indicadores e seu ciclo de publicação, inclusive combinando metadados de diferentes órgãos e formatos de divulgação, o que reforça o papel do modelo como infraestrutura para interoperabilidade, rastreabilidade e reuso.

Do ponto de vista operacional, a ontologia desenvolvida em OML pode ser traduzida para OWL/RDF e publicada em um repositório de triplas, possibilitando consulta por meio da linguagem SPARQL 1.1. Assim, além da verificação de consistência, torna-se viável demonstrar a utilidade do artefato por meio de questões de competência respondidas por consultas, evidenciando como o padrão semântico facilita a exploração do catálogo e das atividades do processo. A Figura 5 demonstra, a título de exemplificação, a execução da seguinte consulta: “Quais indicadores cada órgão publica, com suas devidas categorias e periodicidades?”, e o resultado pode ser visualizado de forma organizada, onde o grafo possibilita a inclusão de inúmeras propriedades para uma amostragem mais consolidada, sendo, neste caso, o nome do órgão, o nome do indicador ao qual o órgão está vinculado, a categoria a qual o indicador se enquadra, e sua periodicidade de avaliação para monitoramento.

orgaoNome	indicadorNome	categoria	periodicidade
1 Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)	Inovação organizacional (%)	Inovação	Bienal/Trienal
2 Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)	Bolsas de pesquisa do CNPq	Recursos Humanos	Anual
3 Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC)	Produção Científica	Produção Científica	Anual
4 Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)	Percentual de empresas que implementaram inovações (produto/processo)	Inovação	Trienal
5 Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)	Dispêndio nacional em C&T em relação ao PIB por setor	Recursos Aplicados	Anual
6 Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)	Dispêndio nacional em C&T por atividade	Recursos Aplicados	Anual
7 Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)	Estimativa de dispêndios das IES com pós-graduação (aproximação P&D)	Recursos Aplicados	Anual
8 Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)	Doutores titulados por grande área	Recursos Humanos	Anual
9 Ranking de Competitividade do CLP - Centro de Liderança Pública (CLP)	Proporção de docentes de pós-graduação beneficiados por bolsas CNPq, CAPES e FAPs dos estados.	Inovação	Anual
10 Índice Brasil de Inovação e Desenvolvimento (IBID)	VAB de atividades científicas e técnicas (2021)	Inovação	Anual

Figura 5 - Resultado da consulta: “Quais indicadores cada órgão publica, com suas devidas categorias e periodicidades?”. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Diante deste contexto, para as partes interessadas, tais como órgãos produtores e difusores de indicadores de CT&I, gestores de políticas públicas, pesquisadores e sociedade em geral, entre os benefícios estão: interoperabilidade e reuso entre publicações e instituições; rastreabilidade do ciclo de vida do indicador; e consultas

reproduzíveis que reduzem ambiguidades e divergências terminológicas. Estes ganhos reforçam o papel dos indicadores como insumo para apoiar a tomada de decisões e para avaliação de políticas públicas baseadas em evidências (Hoseini *et al.*, 2024; Noy *et al.*, 2019).

Como resultado desta etapa do trabalho, está disponível a ontologia²⁶ modular em OML que permite demonstrar como um indicador se relaciona com o órgão publicador (e este com os “conceitos-chave” de cada atividade do processo). A separação em dois níveis (vocabulários e descrições) favorece a clareza, a validação e a evolução incremental do modelo semântico, inclusive com suporte da ferramenta Rosetta para edição, verificação e análise, através das funcionalidades nativas do *software*, como o JUnit²⁷, um *framework* voltado para testes. Além disso, por ser inspirada e mapeável para OWL, a ontologia herda a semântica de mundo aberto e a possibilidade de extensão monotônica, o que viabiliza incorporar novos órgãos, indicadores e variações terminológicas sem romper a estrutura já definida, reforçando o caráter do artefato como um padrão semântico reutilizável para harmonização e interoperabilidade no sistema nacional de CT&I.

4. Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma proposta de especificação de Indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) no contexto do sistema nacional de CT&I. Partindo do entendimento de que indicadores são insumos fundamentais para monitoramento, avaliação e aprimoramento de políticas públicas, e de que a heterogeneidade conceitual e de metadados compromete a comparabilidade e o reuso, a pesquisa estruturou um caminho metodológico em três etapas: mapeamento do ciclo de vida dos indicadores, construção de um catálogo e desenvolvimento de ontologia. A principal contribuição é um modelo semântico modular que formaliza conceitos, relações e propriedades associados tanto ao indicador quanto às atividades necessárias até a publicação, buscando fornecer uma referência reutilizável para o ecossistema nacional de CT&I.

No que se refere aos resultados, a pesquisa entrega três artefatos complementares: processo de referência para publicação de indicadores, organizado em atividades que explicitam desde o levantamento de dados até o monitoramento, favorecendo à rastreabilidade do ciclo de vida; catálogo consolidado que reúne indicadores publicados por cinco órgãos selecionados (MCTI, OCTI/CGEE, FIEC, IBID/INPI e CLP), tornando visíveis as variações de estrutura, campos e nomenclaturas adotadas; ontologia implementada em OML no ambiente Rosetta, estruturada em módulos de vocabulários e descrições, o que facilita evolução incremental do modelo, verificação de consistência e posterior exploração por consultas e raciocinadores, em alinhamento com os fluxos de modelagem e análise previstos na própria linguagem.

Como implicação prática, o modelo ontológico proposto viabiliza representar o conjunto de indicadores de CT&I como um Grafo de Conhecimento (em RDF), no qual indicadores, metadados, órgãos produtores, fontes e etapas do ciclo de publicação passam a ser descritos de forma semanticamente consistente e, portanto, consultável e integrável. Esse ponto é central em iniciativas de governo orientado por dados, pois a

²⁶ Disponível em: <https://github.com/JocaMotta1/especificacao-indicadores-cti>

²⁷ [JUnit](#)

geração de valor público depende não apenas da abertura de dados, mas de dados acompanhados por metadados padronizados e alinhados conceitualmente, capazes de sustentar a interoperabilidade e o reuso entre instituições e plataformas (OECD, 2019).

Nesse sentido, a ontologia aproxima as publicações de indicadores do objetivo de tornar ativos mais encontráveis, acessíveis, interoperáveis e reutilizáveis, ao fornecer uma camada semântica que explicita definições, relações e contexto de produção e divulgação do indicador. Além disso, por estar alinhada ao padrão OWL, a modelagem herda uma semântica formal que permite inferência automática e extensão incremental, o que é especialmente útil quando novos indicadores e novos órgãos precisam ser incorporados sem romper o padrão estabelecido.

A utilidade se materializa quando as partes interessadas conseguem consultar e auditar o ciclo de vida do indicador por meio de SPARQL, linguagem padrão para consulta em grafos RDF. Por exemplo, órgãos produtores e observatórios podem recuperar rapidamente “quais indicadores de *Patentes* foram publicados por cada órgão e em quais anos”, apoiando a transparência, a melhoria de qualidade, a agilidade e a praticidade na filtragem da informação; formuladores de política pública podem filtrar indicadores por recorte territorial e periodicidade para compor monitoramentos; e, ainda, pesquisadores e jornalistas podem rastrear a proveniência e comparar séries de diferentes publicações com menor risco de ambiguidade terminológica.

Entre as limitações, destaca-se o caráter de prova de conceito, tendo em vista que o recorte contemplou cinco iniciativas e apenas uma parcela do catálogo foi instanciada na ontologia completa, priorizando a demonstração da viabilidade e da estrutura do padrão. Ainda, a modelagem do processo de publicação dos indicadores de CT&I foi modelado de uma forma bem básica, ao apresentar apenas um ator (Organização de CT&I), e consolidar cada atividade presente no processo como uma “*task*” apenas. Além disso, a extração e a consolidação de metadados ocorreu majoritariamente de forma manual e dependente da forma como cada portal *web* publica seus conteúdos, o que pode introduzir lacunas ou assimetrias na documentação disponível. Por fim, não foi conduzida, nesta versão do trabalho, uma validação aprofundada com *stakeholders* institucionais para aferir aderência do padrão em rotinas reais de produção e disseminação, o que contribuiu efetivamente para a falta de destrinçamento do artefato relacionado à modelagem dos indicadores, por exemplo.

Como trabalhos futuros, o foco é direcionado em: ampliar o recorte para incluir novos órgãos e iniciativas de CT&I, aumentando cobertura e diversidade; evoluir o catálogo para um fluxo mais automatizado de coleta e atualização; e aprofundar o alinhamento do processo e dos metadados a modelos consolidados de produção estatística, reforçando a comparabilidade do ciclo de vida proposto com práticas de estatísticas oficiais. Também se mostra promissor disponibilizar a ontologia e o catálogo em infraestrutura de dados abertos, permitindo integração com grafos de conhecimento e serviços de consulta, além de conduzir uma avaliação baseada em questões de competência, estudos de caso adicionais e validação com especialistas do domínio.

Referências

Benjamins, V. R.; Fensel, D.; Gomez-Perez, A. (2000). “Knowledge Management through Ontologies”. Disponível em:

- https://www.researchgate.net/publication/50236214_Knowledge_Management_throu gh_Ontologies. Acesso em: 15/01/2026.
- BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2025). “Indicadores nacionais de ciência, tecnologia e inovação 2025”, Brasília. MCTI, 171 p. ISSN 1413-3148. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/indicadores/paginas/publicacoes/ar quivos/indicadores_cti_2025.pdf. Acesso em: 29/01/2026.
- Castro, M.; Barcellos, M. (2023). “An Ontology to support Knowledge Management Solutions for Human-Computer Interaction Design”, 1-10, doi: [10.1145/3571473.3571502](https://doi.org/10.1145/3571473.3571502).
- CGEE. (2021). CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - “Boletim Temático do OCTI: Indicadores da Geografia da CT&I no Brasil”, Brasília, DF: CGEE, (Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação, ano 2, n. 4, out. 2021). Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/37878/43769/CGEEE_OCTI_boletim_tem_octi_04.pdf. Acesso em: 29/01/2026.
- CLP. (2025). CENTRO DE LIDERANÇA PÚBLICA - “Ranking de Competitividade dos Estados: edição 2025”, [S.l.]. Disponível em: <https://clp.org.br/wp-content/uploads/2025/09/Ranking-de-Competitividade-dos-Estados-2025.pdf>. Acesso em: 26/12/2025.
- FIEC. (2025). CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ; OBSERVATÓRIO DA INDÚSTRIA CEARÁ - “Índice de Inovação dos Estados 2025”, Fortaleza: CNI. 95 p.: il. Disponível em: <https://www.observatorio.ind.br/wp-content/uploads/2022/02/Indice-de-Inovacao-dos-Estados-2025.pdf>. Acesso em: 29/01/2026.
- Creswell, J. W. (2014). “Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches”, 4. ed, Thousand Oaks: SAGE. Disponível em: https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf. Acesso em: 29/01/2026.
- Dalkir, K. (2013). Knowledge Management in Theory and Practice. [10.4324/9780080547367](https://doi.org/10.4324/9780080547367).
- Dias, T. M. R.; Mena-Chalco, J. P.; Carvalho Segundo, W. L. R. de.; Pinto, A. L.; Moreira, T. H. J. (2023). “BRCRIS: plataforma para integração, análises e visualização de dados técnicos-científicos”, Informação & Informação, 27(3), 622–638, <https://doi.org/10.5433/1981-8920.2022v27n3p622>.
- Elaasar, M.; Rouquette, N. (2023). “Ontological Modeling Language”. Disponível em: <http://www.opencaesar.io/oml/>. Acesso em: 26/12/2025.
- Farnese, M. L.; Barbieri B.; Chirumbolo, A.; Patriotta, G. (2019). “Managing Knowledge in Organizations: A Nonaka's SECI Model Operationalization”, Front Psychol, doi: [10.3389/fpsyg.2019.02730](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02730), PMID: 31920792, PMCID: PMC6914727.

- Fox, M. (2015). “The role of ontologies in publishing and analyzing city indicators”, *Computers, Environment and Urban Systems*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.09.009>.
- Freitas Jr, V.; Gonçalves, A.; Uren, V.; Woszezenki, C. (2018). “Ontologia para representação de tempo no contexto de indicadores de desempenho”, *Perspectivas em Ciência da Informação*, v.23, n.3, p.03-24, <https://doi.org/10.1590/1981-5344/2609>.
- Garcia-Zamora, D.; Labella, A.; Rodriguez, R. M.; Martinez, L. (2023). “A Framework for the Selection of Indicators through Fuzzy Thresholds: A Circular Economy Application”, 18th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE), Fuzhou, China, 2023, pp. 492-498, <https://doi.org/10.1109/ISKE60036.2023.10481032>.
- Gil, A. C. (2002). “Como elaborar projetos de pesquisa”, 4. ed. São Paulo: Atlas. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf. Acesso em: 29/01/2026.
- Gokhberg, L.; Fursov, K.; Miles, I.; Perani, G. (2013). “Chapter 15: Developing and using indicators of emerging and enabling technologies”, *Handbook of innovation indicators and measurement*, <https://doi.org/10.4337/9780857933652>.
- Hevner, A. R.; March, S. T.; Park, J. *et al.* (2004). “Design Science in Information Systems Research”, *Management Information Systems Quarterly*, 28. 75-, doi: [10.5555/2017212.2017217](https://doi.org/10.5555/2017212.2017217).
- Hitzler, P.; Krötzsch, M.; Parsia, B.; Patel-Schneider, P. F.; Rudolph, S. (2012). “OWL 2 Web Ontology Language: Primer (Second Edition)”, W3C Recommendation. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/owl2-primer/>. Acesso em: 26/12/2025.
- Hogan A.; Blomqvist E.; Cochez M. *et al.* (2021). “Knowledge Graphs”, *ACM Comput, Surv.* 54, 4, Article 71 (May 2022), 37 pages, <https://doi.org/10.1145/3447772>.
- Hoorweg, D. A.; Nunez, F.; Freire, M.; Palugyai, N.; Herrera, E. W.; Villaveces, M. (2007). “City indicators: Now to Nanjing”, World Bank policy research working paper 4114. Disponível em: [World Bank Document](https://www.worldbank.org/publications/prdwngrs/papers/4114). Acesso em: 26/12/2025.
- Hoseini, S.; Theissen-Lipp, J.; Quix, C. (2024). “A survey on semantic data management as intersection of ontology-based data access, semantic modeling and data lakes”, *Journal of Web Semantics*, 81, 100819, [10.1016/j.websem.2024.100819](https://doi.org/10.1016/j.websem.2024.100819).
- INPI. (2025). INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL - “Índice Brasil de Inovação e Desenvolvimento (IBID) 2025: o mapa da inovação do Brasil em suas mãos”, Rio de Janeiro: INPI. 63 p. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/inpi-data/indice-brasil-de-inovacao-e-desenvolvimento-ibid/ibid_2025_pt-br-final.pdf. Acesso em: 29/01/2026.
- Lavbič, D., & Krisper, M. (2010). “Facilitating Ontology development with continuous evaluation”, *Informatica*, 21(4), 533-552, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.04090>.
- Lopez-Rodriguez, V.; Ceballos, H. G. (2022). “Modeling scientometric indicators using a statistical data ontology”, *J Big Data*, 9, 9, <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00562-x>.

- Marcovitch, J. *et al.* (2023). “Repensar a Universidade III: Saberes e Práticas”, organizador: Jacques Marcovitch; colaboradores: Adriana Bin... [et al.], São Paulo: Com-Arte; Fapesp. Disponível em: [Repensar a Universidade III : saberes e práticas](#). Acesso em: 26/12/2025.
- Mendes, W.; Grando, R. L.; Dias, T.; Arruda Jorge, V. de.; Carvalho-Segundo, W. R. de. (2023). “Criação de Indicadores Cientométricos: Estudo de caso da integração do Observatório Ciência, Tecnologia & Inovação em Saúde da Fiocruz ao Sistema BrCris/IBICT”, 29-34.
- Noy, N.; Gao, Y.; Jain, A. *et al.* (2019). “Industry-scale knowledge graphs: lessons and challenges”, *Communications of the ACM*, 62, 36-43, [10.1145/3331166](#).
- OECD. (2014). “Recommendation of the Council on Digital Government Strategies”, OECD Legal Instruments. Disponível em: [Recommendation of the Council on Digital Government Strategies | ARTE](#). Acesso em: 26/12/2025.
- OECD. (2019). “The Path to Becoming a Data-Driven Public Sector”, OECD Digital Government Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/059814a7-en>.
- OECD. (2020). “The OECD Digital Government Policy Framework: Six dimensions of a Digital Government”, OECD Public Governance Policy Papers, No. 2, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/f64fed2a-en>.
- OECD. (2021). “Development Co-operation Report 2021: Shaping a Just Digital Transformation”, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/ce08832f-en>.
- OECD. (2015). “Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development”, Paris: OECD Publishing. DOI: [10.1787/9789264239012-en](#).
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2010). “Measuring Innovation: A New Perspective”, Paris: OECD Publishing, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264059474-en>. Acesso em: 26/12/2025.
- OECD; EUROSTAT. (2018). “Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation”, 4. ed, Paris: OECD Publishing. DOI: [10.1787/9789264304604-en](#).
- Phua, S. Z.; Hofmeister, M.; Tsai, Y. *et al.* (2024). “Fostering urban resilience and accessibility in cities: A dynamic knowledge graph approach”, *Sustainable Cities and Society*, Volume 113, 2024, 105708, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105708>.
- Pinto, A. L.; Carvalho Segundo, W. L. R. de.; Dias, T. M. R.; Silva, V. S.; Gomes, J. C.; Quoniam, L. (2022). “Brazil Developing Current Research Information Systems (BrCRIS) as data sources for studies of research”, *Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication*, 2(1), <https://doi.org/10.47909/ijsmc.135>.
- Prodanov, C. C.; Freitas, E. C. (2013). “Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico”, 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 29/01/2026.

- Sá-Silva, J. R.; Almeida, C. D.; Guindani, J. F. (2009). “Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas”, *Revista Brasileira de História & Ciências Sociais*, v. 1, n. 1, p. 1–15, 2009. DOI: [10.63595/rbhcs.v1i1.10351](https://doi.org/10.63595/rbhcs.v1i1.10351).
- Santos, H.; Dantas, V.; Furtado, V.; Pinheiro, P.; McGuinness, D. L. (2017). “From data to city indicators: A knowledge graph for supporting automatic generation of dashboards”, *European semantic web conference*, Springer International Publishing, 2017, pp. 94–108, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1704.01946>.
- SDMX. (2025). “Standards: SDMX 3.1 Technical Specifications”, [S.l.]. Disponível em: <https://sdmx.org/standards-2/>. Acesso em: 29 jan. 2026.
- Segundo, W.; Dias, T. M. R.; Moreira, T.; Pinto, A. L.; Silva, V. S.; Gomes, J.; Quoniam, L.; Matas, L.; Dias, A. G.; Schneider, J. (2022). “O BrCris como ferramenta de apoio à Ciência Aberta”, *Cadernos BAD*, (1-2), <https://doi.org/10.48798/cadernosbad.2735>.
- Shachnev, D.; Karpenko, D. (2018). “Using Subject Area Ontology for Automating Processes in Sphere of Scientific Investigation and Education”, *Program Comput Soft*, 44, 15–22, <https://doi.org/10.1134/S0361768818010061>.
- Silva, V. S.; Matas, L.; Moreira, T.; Segundo, W. C. (2022). “An ETL strategy for integrating the LA Referencia platform and VIVO for the Brazilian CRIS”, *Procedia Computer Science*, Volume 211, Pages 111-117, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.10.182>.
- UNESCO . (2014). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - Institute for Statistics (UIS) - “Guide to conducting an R&D survey: For countries starting to measure research and experimental development”, Montreal: UNESCO Institute for Statistics, 2014. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000227748>. Acesso em: 26/12/2025.
- van Ooijen Falce, C.; Ubaldi, B.; Welby, B. (2019). “A data-driven public sector: Enabling the strategic use of data for productive, inclusive and trustworthy governance”, *OECD Working Papers on Public Governance*, No. 33, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/09ab162c-en>.
- Villela, K.; Santos, G.; Schnaider, L. *et al.* (2005). “The use of an enterprise ontology to support knowledge management in software development environments”, *J Braz Comp Soc* 11, 45–59, <https://doi.org/10.1007/BF03192375>.
- Wang, H. (2024). “Research on the Application of Knowledge Graph Technology in Urban Management Decision Support System”, [190-194. 10.1145/3686081.3686112](https://doi.org/10.1145/3686081.3686112).
- Wang, Z.; Han, F.; Zhao, S. (2024). “A Survey on Knowledge Graph Related Research in Smart City Domain”, *ACM Trans, Knowl, Discov, Data* 18, 9, Article 223 (November 2024), 31 pages, <https://doi.org/10.1145/3672615>.
- Wieringa, R. J. (2014). “Design Science Methodology for Information Systems and Software Engineering”, [10.1007/978-3-662-43839-8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43839-8).
- W3C. (2024). WORLD WIDE WEB CONSORTIUM - “Data Catalog Vocabulary (DCAT) – Version 3”, W3C Recommendation, 22 Aug. 2024. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/vocab-dcat-3/>. Acesso em: 29/01/2026.