

OntoBNCC: Uma ontologia educacional baseada em experiências para operacionalizar a BNCC na educação básica

Title: *OntoBNCC: An experience-based educational ontology to operationalize the BNCC in basic education*

Título: *OntoBNCC: Una ontología educativa basada en experiencias para operacionalizar la BNCC en la educación básica*

Karlise Soares Nascimento
Instituto Federal Farroupilha /
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: [0000-0001-5985-4172](https://orcid.org/0000-0001-5985-4172)
karlise.nascimento@ifar.edu.br

Samuel Müller Forrati
Instituto Federal Farroupilha
ORCID: [0000-0002-7823-9666](https://orcid.org/0000-0002-7823-9666)
samuel.forrati@ifar.edu.br

David A. Vidalis Machado
Instituto Federal Farroupilha
ORCID: [0009-0007-8436-3413](https://orcid.org/0009-0007-8436-3413)
david.96074@aluno.ifar.edu.br

Serguei Nogueira da Silva
Instituto Federal do Rio Grande do
Sul
ORCID: [0000-0001-7660-866X](https://orcid.org/0000-0001-7660-866X)
serguei.silva@riogrande.ifrs.edu.br

Ana Marilza Pernas
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: [0000-0001-8142-817X](https://orcid.org/0000-0001-8142-817X)
marilza@inf.ufpel.edu.br

Tiago Thompsen Primo
Univ. Federal de Pelotas
ORCID: [0000-0003-3870-097X](https://orcid.org/0000-0003-3870-097X)
tiago.primo@inf.ufpel.edu.br

Resumo

A implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de Computação impõe desafios que transcendem a esfera normativa, evidenciando uma lacuna significativa entre as diretrizes oficiais e a realidade operacional da sala de aula. Este trabalho apresenta a concepção e validação da OntoBNCC, uma ontologia de domínio desenvolvida para formalizar as competências e habilidades da BNCC, servindo como infraestrutura de conhecimento para sistemas inteligentes de apoio ao planejamento e à avaliação pedagógica. A pesquisa adotou uma abordagem bottom-up e seguiu o rigor das sete etapas da Metodologia 101, integrando marcos regulatórios a teorias pedagógicas consolidadas, como a Taxonomia de Bloom, e a dimensões afetivas do aprendizado. O desenvolvimento foi subsidiado por um estudo de caso composto por cinco oficinas temáticas fundamentadas na Cultura Maker, abrangendo eletrônica, robótica, modelagem 3D e realidade virtual, que envolveram 46 estudantes e 11 professores dos Anos Finais do Ensino Fundamental. A aplicação sistemática dos instrumentos SAM e SELFIE permitiu a extração de requisitos empíricos e a captura de estados emocionais discentes, convertendo a subjetividade do cotidiano escolar em axiomas lógicos e regras SWRL. A validação técnica, realizada por meio de Questões de Competência e inferências automatizadas com o raciocinador Pellet, demonstrou a consistência do modelo e sua capacidade de processar dados reais, reduzindo ambiguidades na transposição dos documentos curriculares para ambientes automatizados. Os resultados sugerem que a OntoBNCC provê um suporte seguro para a decisão pedagógica, permitindo a recomendação de trilhas de aprendizagem baseadas tanto no rigor curricular quanto no histórico de engajamento real observado em contextos escolares práticos. Como contribuição para a ciência aberta, o artefato OWL e os códigos das consultas SPARQL estão disponíveis em repositório público para reuso pela comunidade.

Palavras-chave: Ontologia; BNCC; Computação; Cultura Maker; Estados Afetivos; Engenharia de Ontologias.

Abstract

Cite as: Nascimento, K. S., Forrati, S. M., Machado, D. A. V., Silva, S. N., Pernas, A. M., Primo, T. T. (2026). OntoBNCC: Uma ontologia educacional baseada em experiências para operacionalizar a BNCC na educação básica. Revista Brasileira de Informática na Educação, 34, 1279-1308. <https://doi.org/10.5753/rbie.2026.7693>.

The implementation of the National Common Curricular Base (BNCC) for Computing imposes challenges that transcend the normative sphere, highlighting a significant gap between official guidelines and the operational reality of the classroom. This work presents the design and validation of OntoBNCC, a domain ontology developed to formalize BNCC competencies and skills, serving as a knowledge infrastructure for intelligent systems supporting pedagogical planning and assessment. The research adopted a bottom-up approach and followed the rigor of the seven stages of Methodology 101, integrating regulatory frameworks with established pedagogical theories, such as Bloom's Taxonomy, and affective learning dimensions. Development was supported by a case study consisting of five thematic workshops grounded in Maker Culture, covering electronics, robotics, 3D modeling, and virtual reality, involving 46 students and 11 teachers from Middle School. The systematic application of the SAM and SELFIE instruments allowed for the extraction of empirical requirements and the capture of student emotional states, converting the subjectivity of daily school life into logical axioms and SWRL rules. Technical validation, performed through Competency Questions and automated inferences with the Pellet reasoner, demonstrated the model's consistency and its ability to process real data, reducing ambiguities in the transposition of curricular documents into automated environments. Results suggest that OntoBNCC provides secure support for pedagogical decision-making, allowing for recommendations based on both curricular rigor and the history of real engagement observed in practical school contexts. As a contribution to open science, the OWL artifact and SPARQL query codes are available in a public repository for reuse and expansion by the community.

Keywords: Ontology; BNCC; Computing; Maker Culture; Affective States; Ontology Engineering.

Resumen

La implementación de la Base Nacional Común Curricular (BNCC) de Computación plantea desafíos que trascienden la esfera normativa, evidenciando una brecha significativa entre las directrices oficiales y la realidad operativa del aula. Este trabajo presenta el diseño y la validación de OntoBNCC, una ontología de dominio desarrollada para formalizar las competencias y habilidades de la BNCC, sirviendo como infraestructura de conocimiento para sistemas inteligentes de apoyo al planeamiento y la evaluación pedagógica. La investigación adoptó un enfoque bottom-up y siguió el rigor de las siete etapas de la Metodología 101, integrando marcos regulatorios con teorías pedagógicas consolidadas, como la Taxonomía de Bloom, y dimensiones afectivas del aprendizaje. El desarrollo se apoyó en un estudio de caso compuesto por cinco talleres temáticos fundamentados en la Cultura Maker, que abarcaron electrónica, robótica, modelado 3D y realidad virtual, en los que participaron 46 estudiantes y 11 profesores de Educación Secundaria. La aplicación sistemática de los instrumentos SAM y SELFIE permitió extraer requisitos empíricos y captar estados emocionales de los discentes, transformando la subjetividad del cotidiano escolar en axiomas lógicos y reglas SWRL. La validación técnica, mediante Cuestiones de Competencia e inferencias automatizadas con el razonador Pellet, demostró la consistencia del modelo y su capacidad para procesar datos reales, reduciendo ambigüedades en la transposición de los documentos curriculares a entornos automatizados. Los resultados indican que la OntoBNCC ofrece un soporte seguro para la decisión pedagógica, permitiendo la recomendación de rutas de aprendizaje basadas tanto en el rigor curricular como en el historial de compromiso real observado en contextos escolares prácticos. Como contribución a la ciencia abierta, el artefacto OWL y los códigos de las consultas SPARQL están disponibles en un repositorio público para su reutilización por parte de la comunidad.

Palabras clave: Ontología; BNCC; Computación; Cultura Maker; Estados Afectivos; Ingeniería de Ontologías.

1 Introdução

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) normatiza as aprendizagens essenciais (conhecimentos, competências, habilidades e valores) a serem desenvolvidas na Educação Básica brasileira (Brasil, 2017). Recentemente, a homologação da Norma sobre a Computação estabeleceu um marco significativo para o setor (Brasil, 2022). No entanto, essa atualização impõe desafios de implementação que transcendem a esfera puramente normativa, exigindo estratégias pedagógicas que articulem a teoria à prática cotidiana.

Nesse cenário, considera-se que a sistematização do Ensino da Computação fundamenta-se não apenas nos marcos legais, mas também em teorias pedagógicas consolidadas que sustentam as práticas de ensino-aprendizagem. Assim, enquanto a normativa define o "o que" deve ser ensinado, a definição das metodologias e do "como" ensinar permanece sob a responsabilidade das redes de ensino e dos docentes. Identifica-se, contudo, uma lacuna entre as diretrizes oficiais e a realidade da sala de aula, frequentemente marcada pela escassez de materiais didáticos e pela dificuldade em conectar os novos conteúdos de Computação a metodologias ativas, como a Cultura Maker (Ribeiro et al., 2022).

Sob o ponto de vista conceitual, entende-se que o suporte ao planejamento pedagógico exige uma forma de representação do conhecimento que seja capaz de captar a complexidade dessas relações entre normas curriculares, recursos didáticos e o contexto dos estudantes. A literatura sugere que Sistemas Inteligentes podem se beneficiar de ontologias de domínio para a representação formal e explícita desse conhecimento. Ao descrever metadados educacionais por meio de uma estrutura semântica, busca-se garantir a consistência lógica necessária para o processamento de variáveis pedagógicas, visando reduzir as ambiguidades interpretativas que frequentemente surgem na transposição de documentos textuais para sistemas automatizados (Primo & Vicari, 2012).

Este estudo justifica-se pela oportunidade de integrar o conhecimento teórico-normativo a tecnologias semânticas para auxiliar no planejamento das aulas de Computação, sob o olhar de quem vivencia o cotidiano escolar e observa as interações afetivas no aprendizado tecnológico. Para que tal estrutura atue como uma infraestrutura de conhecimento confiável, seu desenvolvimento foi amparado por um processo consolidado de Engenharia de Ontologias. O artefato seguiu as etapas da Metodologia 101, que orienta desde a determinação do escopo até a definição formal de restrições, visando assegurar que a ontologia represente fielmente tanto a estrutura normativa quanto as evidências empíricas coletadas (Noy & McGuinness, 2001). Essa escolha metodológica visa assegurar que a ontologia represente fielmente a estrutura normativa. Complementarmente, o desenvolvimento pautou-se por uma abordagem *bottom-up*, visando assegurar que a ontologia represente fielmente tanto a estrutura normativa quanto os requisitos extraídos do cotidiano escolar, que serviram de insumo para a fundamentação teórica da BNCC.

O objetivo geral deste trabalho é conceber, implementar e avaliar a OntoBNCC, uma ontologia de domínio projetada para formalizar as competências e habilidades da BNCC de Computação. Os objetivos específicos compreendem: (1) modelar a BNCC de Computação em um esquema ontológico; (2) integrar o modelo a ontologias relacionadas no domínio educacional, visando o reúso de termos e a interoperabilidade semântica; (3) implementar cenários de uso voltados ao planejamento; e (4) avaliar a consistência lógica e a capacidade de resposta do artefato

frente aos requisitos do domínio por meio de questões de competência e inferências automatizadas. Espera-se que a ontologia OntoBNCC contribua para a melhoria do ensino de Computação nas escolas públicas, servindo como base para a personalização do ensino e incentivando práticas interdisciplinares alinhadas às diretrizes nacionais.

As demais seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma: A Seção 2 fundamenta a pesquisa por meio do referencial teórico e da análise de trabalhos relacionados, buscando identificar oportunidades de interoperabilidade e reúso de termos no domínio educacional; A Seção 3 detalha o delineamento metodológico, que articula técnicas de Engenharia de Ontologias a práticas pedagógicas empíricas de forma iterativa; A Seção 4 descreve o estudo de caso realizado em oficinas de Computação e Cultura *Maker*, as quais forneceram a base contextual e os cenários de aplicação para a pesquisa; A Seção 5 apresenta a contextualização do domínio e a extração de requisitos empíricos, consolidando os dados obtidos por meio de instrumentos de diagnóstico e autoavaliação aplicados no ambiente escolar; A Seção 6 detalha o processo de engenharia da ontologia OntoBNCC, abrangendo as etapas de modelagem conceitual, implementação de restrições lógicas e a instanciação dos dados curriculares e empíricos; A Seção 7 discute os resultados e a validação da consistência lógica do modelo, verificando sua capacidade de resposta frente aos requisitos do domínio por meio de questões de competência e inferências automatizadas; Finalmente, a Seção 8 apresenta as considerações finais, sintetizando as contribuições do trabalho e sugerindo perspectivas para investigações futuras.

2 Referencial Teórico

Esta seção apresenta os fundamentos teóricos que alicerçam a pesquisa, adotando uma abordagem orientada ao problema. Inicialmente, discute-se a BNCC, a BNCC de Computação e os aspectos pedagógicos do Ensino da Computação na Educação Básica. Subsequentemente, abordam-se conceitos de representação do conhecimento e o uso de ontologias como artefatos tecnológicos aplicáveis a este domínio.

2.1 A Base Nacional Comum Curricular

A BNCC constitui um documento de caráter normativo que estabelece um conjunto orgânico, articulado e progressivo de aprendizagens consideradas essenciais a serem desenvolvidas por todos os estudantes brasileiros ao longo das diferentes etapas e modalidades da Educação Básica. Sua finalidade central é orientar e regular a qualidade e a equidade educacional no país, de modo a garantir padrões mínimos de aprendizagem, independentemente da rede de ensino, do sistema educacional ou da localização geográfica das instituições. Embora de observância obrigatória, a BNCC mantém a autonomia das escolas e dos sistemas de ensino na organização de seus currículos, desde que sejam asseguradas as competências e habilidades nela previstas (Brasil, 2017).

A BNCC organiza as aprendizagens essenciais em Competências e Habilidades, alinhando-se ao Plano Nacional de Educação (PNE). Cada habilidade é identificada pelo seu respectivo código alfanumérico (ex: EF15LP14), que especifica a etapa, o ano, o componente curricular e a sequência pedagógica. No Ensino Fundamental, a BNCC de Computação inseriu 104 novas habilidades, categorizadas nos eixos: Pensamento Computacional, Mundo Digital e Cultura Di-

gital. Essa expansão normativa exige adequação curricular e formação docente para garantir a implementação efetiva destas novas competências.

2.2 Aspectos Pedagógicos Relacionados

A sistematização do Ensino da Computação fundamenta-se não apenas nos normativos legais, mas também em teorias pedagógicas consolidadas que sustentam as práticas de ensino-aprendizagem. A BNCC adota o foco no desenvolvimento de competências com a mobilização de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores para resolver demandas complexas (Brasil, 2017). Embora o documento defina “o que” ensinar, a metodologia (“como” ensinar) permanece sob a responsabilidade das redes de ensino. Neste trabalho, destacam-se o Construtivismo, o Construcionismo e a Aprendizagem Significativa, além da Taxonomia de Bloom (TB). A TB, versão revisada, classifica os processos cognitivos em seis níveis de complexidade crescente: Lembrar, Entender, Aplicar, Analisar, Avaliar e Criar (Ferraz & Belhot, 2010). Essa estrutura hierárquica é fundamental para o planejamento pedagógico e foi utilizada na ontologia OntoBNCC para modelar os níveis de complexidade das habilidades requeridas.

A BNCC incorpora princípios do Construtivismo (Piaget, 1990), Construcionismo (Papert, 1993) e Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2000) ao enfatizar o protagonismo do estudante, a mobilização de conhecimentos prévios e a resolução de problemas em contextos reais. Nesse cenário, o ensino de Computação incentiva os alunos a deixarem de ser apenas consumidores para se tornarem produtores de conhecimento computacional.

Para operacionalizar essas teorias, as Metodologias Ativas colocam o aluno no centro do processo, alinhando-se a competências transversais como o pensamento crítico e a criatividade. A Cultura *Maker* surge como uma abordagem prática desse movimento, fundamentada no “aprender fazendo” e na construção de artefatos tangíveis. A avaliação nessas práticas pedagógicas busca transcender a simples verificação de conteúdo, priorizando a análise dos processos criativos, a colaboração e as respostas subjetivas e emocionais dos estudantes durante a realização das atividades.

O desenvolvimento da OntoBNCC baseia-se nestes pilares pedagógicos, mas não se limita a eles. A complexidade de mapear a diversidade de aspectos pedagógicos exige um ponto de partida coerente com a proposta abordada.

A subseção 2.3 trata dos fundamentos computacionais deste trabalho.

2.3 Ontologias em Ciência da Computação

O conceito de ontologia, consolidado como uma especificação explícita de uma conceitualização (Gruber, 1993), é fundamental para a *Web Semântica* ao viabilizar o compartilhamento e o processamento automatizado de conhecimentos por agentes de software (Berners-Lee et al., 2001; Isotani e Bittencourt, 2015). Estruturadas por meio de quatro elementos fundamentais (classes, relações, instâncias e axiomas), as ontologias de domínio aplicam métodos interdisciplinares que integram princípios da Ciência da Computação e da Ciência da Informação para organizar e indexar o conhecimento de contextos específicos (Almeida, 2020; Mendonça e Felipe, 2020).

No âmbito educacional, essas estruturas facilitam a modelagem semântica de currículos e

favorecem a interoperabilidade entre sistemas de aprendizagem. Trabalhos como o de Primo e Vicari (2012) demonstram a importância de descrever Objetos de Aprendizagem e Perfis de Usuário como indivíduos em ontologias OWL (*Web Ontology Language*) para viabilizar o raciocínio e a interoperabilidade técnica e semântica, destacando o uso de padrões de metadados como o OBAA no contexto brasileiro. E o trabalho de Simon (2018), que utiliza ontologias para organizar competências e fundamentar recomendações pedagógicas. Nesse cenário, a OntoBNCC busca representar formalmente a estrutura normativa brasileira e as habilidades de Computação, visando apoiar o planejamento docente e a seleção precisa de recursos educacionais.

Adicionalmente, a ontologia OntoUaffect (Dorneles et al., 2025) destaca-se por representar estados afetivos de estudantes em contextos educacionais, integrando variáveis como o perfil do aluno, a localização, o tempo e os recursos pedagógicos utilizados. Essa abordagem fundamenta sistemas de computação afetiva sensíveis ao contexto, permitindo identificar e prever como as emoções e o engajamento influenciam diretamente o processo de aprendizagem. No desenvolvimento da OntoBNCC, a OntoUaffect é essencial para sustentar a análise da subjetividade discente, possibilitando que as respostas emocionais capturadas durante as práticas pedagógicas sejam processadas para refinar as recomendações de conteúdo e apoiar decisões docentes baseadas no bem-estar do estudante.

2.4 Trabalhos Relacionados

Esta seção trata dos estudos relacionados ao desenvolvimento de ontologias em contextos educacionais, conforme a Tabela 1, que contribuíram para o desenvolvimento da OntoBNCC.

Tabela 1: Comparação entre os trabalhos relacionados.

Trabalho	Objetivo	Escopo	Base Teórica	Metodologia	Validação
Silva (2017)	Gestão de Objetos de Aprendizagem (OAs)	Taxonomia de Bloom	Bloom	Metodologia 101	Cenários hipotéticos
Oliveira (2018)	Gestão de Objetos de Aprendizagem (OAs)	OAs e Bloom	Bloom e RSL	RSL e Protégé	Prática com pedagogos
Forrati et al. (2025)	Repositório Web Semântico de OADs	Metadados, Acessibilidade	ABNT (NBR 6023:2018), WCAG, Bloom	Metodologia 101	Grupo Focal
Garcez (2022)	Representar Pensamento Computacional	Ontologias de topo e domínio	Wing, Brennan, Silva Jr.	Metodologia 101	Integração ontológica
Azevedo (2019)	Apoio ao ensino de Computação	Pensamento Computacional (PC)	Prática docente	Protégé	Sistema MICAS (Portugal)
Simon (2018)	Representar competências	SREs Educacionais	Educação por Competências	Metodologia 101	Pós-grad. em IE
Dorneles et al. (2025)	Modelagem de estados afetivos	Contextos pedagógicos	Computação afetiva	Protégé	Modelagem conceitual

Nota: ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas); IE (Informática na Educação); NBR (Norma Brasileira); OADs (Objetos de Aprendizagem Digitais); RSL (Revisão Sistemática de Literatura); SREs (Sistemas de Recomendação Educacionais); WCAG (Web Content Accessibility Guidelines).

Os trabalhos de Silva (2017) e Oliveira (2018) trataram sobre o gerenciamento de Objetos

de Aprendizagem (OAs) alinhada à Taxonomia de Bloom, focando no planejamento pedagógico e na monitoria do progresso discente. Forrati et al. (2025) expandiram essa visão com a ontologia OntoObADi, focada em Repositórios *Web Semânticos*. O diferencial deste modelo reside na integração de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e diretrizes de acessibilidade, viabilizando buscas precisas e reúso de recursos digitais em ambientes virtuais.

Garcez (2022) propôs uma ontologia de domínio que integra ontologias de topo das perspectivas de diferentes autores sobre o Pensamento Computacional (PC). Já Azevedo (2019) desenvolveu uma plataforma, utilizando uma ontologia de domínio para classificar recursos e sugerir atividades interativas adequadas a diferentes níveis de ensino da computação, em Portugal.

Simon (2018) correlacionou competências a recursos e atividades para suportar sistemas de recomendação educacional. E considerando a relevância do contexto emocional, Dorneles et al. (2025) introduziram a OntoUAffect, que modela estados afetivos integrando abordagens discretas e dimensionais das emoções. A ontologia valida a viabilidade de sistemas sensíveis ao contexto emocional do aluno, fator determinante para o engajamento em práticas *maker*.

A análise da literatura revela que, embora existam modelos robustos para nichos específicos (OAs, PC e Afetividade), persiste uma lacuna na integração sistêmica entre documentos curriculares nacionais (BNCC), teorias de aprendizagem e a prática *maker*. A ontologia OntoBNCC surge como uma proposta, formalizando a relação entre as habilidades normativas e as demandas práticas do chão de escola identificadas nas oficinas práticas deste estudo.

3 Metodologia

A presente pesquisa adota uma abordagem quali-quantitativa, de caráter exploratório e descritivo, desenvolvida de forma iterativa. O delineamento metodológico articula técnicas de Engenharia Ontológica com práticas pedagógicas empíricas, visando a estruturação e validação da OntoBNCC no contexto da Informática na Educação. O projeto foi devidamente aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Pelotas (CAAE: 84248724.4.0000.5317, Parecer nº 7.323.659). O percurso investigativo foi organizado em três etapas fundamentais, sintetizadas na Tabela 2.

Tabela 2: Síntese do Percurso Investigativo da Modelagem.

Fase	Atividade	Objetivo e Instrumentos
1	Mapeamento Teórico	Revisão bibliográfica e análise dos marcos regulatórios da BNCC de Computação.
2	Estudo de Caso	Intervenção com 5 oficinas temáticas (Maker/RV) e coleta de dados afetivos (SAM e SELFIE).
3	Engenharia da Ontologia	Execução das sete etapas da Metodologia 101 para construção do artefato OWL.

A pesquisa apoia-se em uma abordagem *bottom-up* (Isotani & Bittencourt, 2015), onde a BNCC é complementada por requisitos extraídos diretamente do chão da escola. O uso sistemático do instrumento SAM (Morris, 1993) permitiu mensurar as emoções dos discentes ao final de cada oficina. Já a aplicação do instrumento SELFIE (European Commission, 2022) possibilitou diagnosticar a cultura digital escolar sob a perspectiva de docentes e estudantes. Essa integração

permitiu que a ontologia convertesse a subjetividade do ambiente escolar em axiomas lógicos e regras. Por fim, o desenvolvimento seguiu o rigor metodológico para assegurar que o artefato representasse fielmente tanto a estrutura normativa quanto as evidências empíricas coletadas.

4 Estudo de Caso: aplicação prática no chão da escola

As oficinas de Computação e Cultura Maker que apoiaram este estudo de caso foram realizadas em 2025, em uma escola pública municipal de Santo Ângelo/RS (Escola Municipal de Ensino Fundamental (EMEF) - Professora Mathilde Ribas Martins), em parceria com o Laboratório IF Maker do Instituto Federal Farroupilha (IFFar) – *Campus Santo Ângelo*. O público-alvo da intervenção foram estudantes dos Anos Finais do Ensino Fundamental (do 6º ao 9º ano) e seus respectivos professores. A amostra foi de 46 estudantes, divididos em duas turmas. As atividades, com carga horária total de 20 horas, divididas em 5 encontros temáticos de 4 horas cada, foram planejadas de forma interdisciplinar e baseadas em princípios da Cultura *Maker* (Blikstein, 2013; Hatch, 2014), utilizando recursos acessíveis como kits de robótica, papelaria, plataformas digitais e ferramentas de prototipagem, assim como recursos avançados de Óculos de Realidade Virtual (RV) e Canetas 3D, com o objetivo de articular teoria e prática de forma lúdica e engajadora.

As oficinas tinham como objetivo proporcionar aos estudantes experiências práticas relacionadas às habilidades previstas na BNCC de Computação, tais como: desenvolver projetos de programação e aplicar conceitos computacionais à resolução de problemas reais. Cada encontro articulava uma ou mais habilidades da BNCC de Computação com atividades práticas que permitiam a observação e o registro de evidências de aprendizagem.

Durante a realização das oficinas foram utilizados instrumentos de coleta de dados, como registros audiovisuais e observacionais e formulários de autoavaliação. Os dados foram posteriormente compilados e analisados, permitindo verificar sua capacidade de representar os elementos presentes nas situações vivenciadas pelos estudantes. A Metodologia Rotação por Estações (Horn e Staker, 2015) foi utilizada para dividir as turmas em grupos menores por um determinado tempo, conforme mostra a Figura 1 do primeiro encontro.

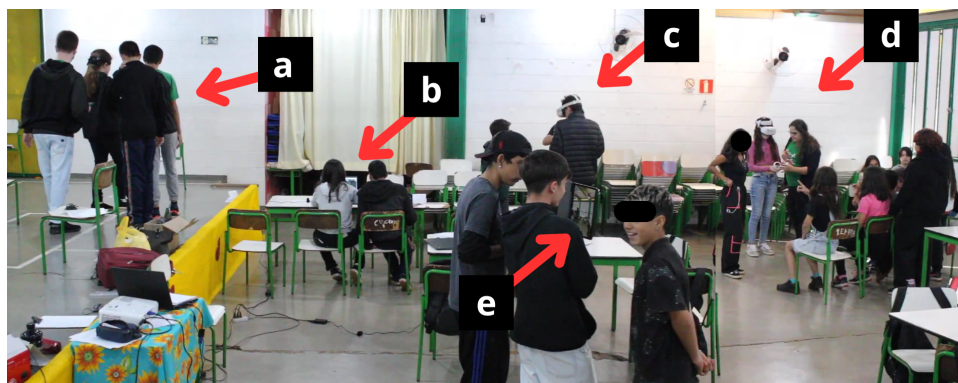


Figura 1: Estações do Encontro 1: a) Alunos na Estação Noções de Orientação Espacial; b) Alunos trabalhando no *notebook*; c) Aluno trabalhando no *headset VR*; d) Alunas na Estação *Beat Saber* usando um *headset VR*; e) Alunos interagindo com o *tablet*.

O questionário de diagnóstico inicial revelou um perfil heterogêneo. Embora 70% dos estudantes já tivessem ouvido falar sobre computação ou programação, aproximadamente 75,5%

nunca haviam participado de atividades práticas com tecnologia, como robótica ou jogos educativos. Suas expectativas para as oficinas incluíam desde “aprender a programar um robô ou um jogo” até “entender como a tecnologia funciona” e conhecer diferentes profissões na área de Computação. Outros resultados do questionário de Diagnóstico Inicial estão descritos na Subseção 5.1. Com exceção do último, os encontros ocorreram nas dependências da escola, utilizando-se o Auditório e os Laboratórios de Informática e de Ciências.

A Tabela 3 resume a sequência de encontros e os temas das oficinas, que compõem a trilha pedagógica desse estudo.

Tabela 3: Resumo do Estudo de Caso: Mapeamento de Recursos, Habilidades e Dinâmica Afetiva.

Enc.	Temas das oficinas	Metodologia e Recursos	Habilidades	Dinâmica Afetiva Observada
1º	Metaverso, Realidade Virtual e Aumentada, Profissões do Futuro e Noções de Orientação Espacial, Sentidos e Pens. Computacional.	Rotação por Estações: Metaverso (Spatial.io), RV (Beat Saber), RA (Arloopa) e Orientação Espacial (tátil/venda).	EF09CO07 EF06CO09	Alta Excitação: Empolgação, expectativa e forte engajamento inicial com tecnologias imersivas.
2º	Pensamento Computacional, Métodos Ágeis com LEGO4Scrum e <i>Pixel Art</i> .	Métodos Ágeis e PC: <i>LEGO4Scrum</i> , <i>Pixel Art</i> desplugado com desafios matemáticos.	EF06CO04 EF07CO01	Flutuação Crítica: Frustração e ansiedade (pressão temporal) convertidas em autoeficácia e orgulho ao final.
3º	Introdução à Robótica, Eletrônica Básica com circuitos elétricos em papel e Programação com Arduino e o <i>software</i> Tinkercad.	Robótica e Eletrônica: Tinkercad (simulação), Arduino e circuitos em papel (fita de cobre e LEDs).	EF69CO02 EF07CO05	Estado de Fluxo: Concentração profunda, paciência e resiliência diante de falhas técnicas/físicas.
4º	Modelagem e Fabricação digital com o <i>software</i> Tinkercad e Canetas de Impressão 3D.	Fabricação Digital: Modelagem 3D no Tinkercad e prototipagem com Canetas 3D.	EF06CO04 EF07CO11	Autonomia: Sentimento de realização e satisfação ao materializar o <i>design</i> digital em artefato físico.
5º	Visita ao IFFar e ao Lab. IF Maker e Certificação.	Cultura Maker: Visita técnica ao Laboratório IF Maker, Cortadora <i>Laser</i> e Certificação.	EF06CO10 EF09CO08	Vocação: Senso de pertencimento, motivação acadêmica e visão crítica sobre economia 4.0.

5 Contextualização do Domínio e Extração de Requisitos Empíricos

A modelagem da OntoBNCC fundamenta-se em uma abordagem *bottom-up* (Isotani & Bittencourt, 2015), onde a fundamentação normativa da BNCC é complementada por requisitos extraídos do cotidiano escolar. Para tanto, a fase de diagnóstico e acompanhamento empírico utilizou um conjunto de instrumentos aplicados durante o ciclo de oficinas, visando capturar a maturidade digital e o perfil da comunidade escolar:

- **Diagnóstico Inicial:** Aplicado no primeiro contato com os discentes para identificar o repertório tecnológico prévio;
- **Instrumento *Self-Assessment Manikin* (SAM):** Escala pictórica utilizada ao término de cada oficina para mensurar valência e excitação emocional;
- **SELFIE (Professores e Estudantes):** Adaptação do instrumento da Comissão Europeia para diagnosticar a cultura digital institucional sob múltiplas perspectivas;
- **Avaliação Pós-Oficinas:** Questionário de fechamento para validar a percepção de aprendizagem e o impacto das tecnologias utilizadas.

Esses instrumentos permitem que a ontologia realize a triangulação entre o “o que deve ser ensinado” (BNCC) e as “possibilidades reais” do ambiente escolar, convertendo respostas subjetivas em axiomas de recomendação pedagógica.

5.1 Análise do Diagnóstico Inicial

O Questionário de Diagnóstico Inicial foi aplicado de forma impressa aos estudantes. O objetivo central foi identificar o perfil dos alunos, dado que serviu de insumo para a instanciamento da classe *Pessoa* na OntoBNCC. No que concerne ao perfil demográfico, a amostra apresentou uma distribuição composta por 58% de estudantes do gênero masculino e 38% do gênero feminino, com 4% de abstenção na resposta. A faixa escolar concentrou-se majoritariamente no 7º ano (42%), seguido pelo 8º ano (22%), 9º ano (18%) e 6º ano (16%).

Quanto ao repertório técnico, 70% dos respondentes afirmaram possuir conhecimentos prévios sobre computação ou programação, enquanto 30% declararam total desconhecimento do tema. Essa percepção de familiaridade é corroborada pelo uso intensivo de dispositivos móveis: utilizam o celular de forma recorrente, superando o uso de computadores e *tablets*. Menções a dispositivos de Internet das Coisas (IoT) e entretenimento, como Amazon Alexa, robôs aspiradores e consoles de videogame, indicam um ambiente doméstico tecnologicamente povoado, embora o uso pedagógico ainda fosse incipiente.

A participação prévia em atividades práticas (robótica ou jogos educativos) foi confirmada por 70% da amostra, sugerindo uma base de experiência que permite à ontologia sugerir atividades de maior complexidade técnica sem comprometer a carga cognitiva inicial. No campo das expectativas, as respostas abertas, após categorização, revelaram que os estudantes buscam as oficinas principalmente para o contato com tecnologias de fronteira: destacam-se o interesse por Óculos de Realidade Virtual (10 menções), Robótica (7), Programação (4) e Caneta 3D (4).

Para a OntoBNCC, esses dados de diagnóstico inicial são fundamentais para o povoamento das propriedades de dados da subclasse *Aluno*. O alto índice de uso de *tablets* e o interesse em Realidade Virtual, por exemplo, validam a priorização de instâncias de *Recurso Pedagógico* baseadas em mobilidade e imersão visual, alinhando a oferta pedagógica ao horizonte de expectativa identificado no chão da escola.

5.2 Análise do Instrumento *Self-Assessment Manikin* (SAM):

Esta seção detalha os resultados obtidos a partir dos dados coletados durante a intervenção pedagógica, com ênfase no questionário de autoavaliação aplicado ao final de cada encontro. O instrumento central utilizado foi o *Self-Assessment Manikin* (SAM) (Morris, 1993), uma escala

pictórica não verbal que permite medir as dimensões afetivas de forma rápida e intuitiva. A escolha pelo SAM justifica-se pela sua eficácia em capturar estados emocionais sem a necessidade de descrições textuais complexas, o que reduz o esforço cognitivo dos estudantes e evita ambiguidades interpretativas comuns em escalas puramente linguísticas.

Nos primeiros quatro encontros, após as oficinas, o SAM foi empregado em uma escala de 9 pontos para mensurar as dimensões de valência (satisfação) e excitação (motivação), sendo o valor 1 (muito satisfeito/motivado) até 9 (muito insatisfeito/desmotivado), conforme a Figura 2.



Figura 2: Instrumento SAM para medição de valência e excitação.

É importante ressaltar que a análise preliminar desses índices de valência e excitação foi reportada em Nascimento et al. (2025). No presente trabalho, esses dados são revisitados sob a ótica da engenharia de requisitos para fundamentar a lógica de inferência da ontologia OntoBNCC. Conforme evidenciado no estudo exploratório prévio, as médias de satisfação e motivação concentraram-se no espectro positivo (abaixo de 3,5), com destaque para a Oficina de Modelagem e Impressão 3D ($\bar{x}_{\text{sat}} = 2,10$; $\bar{x}_{\text{mot}} = 2,20$) (Nascimento et al., 2025).

Para a modelagem ontológica, esse comportamento empírico não é apenas um resultado estatístico, mas um gatilho para a definição de propriedades de objeto. A análise dos resultados empíricos transcende a interpretação estatística, fornecendo os subsídios necessários para a modelagem semântica e o refinamento da base de conhecimento da OntoBNCC. A transposição dos dados coletados para o ambiente ontológico ocorre por meio da instanciação de indivíduos e da definição de axiomas lógicos que regem o comportamento do sistema.

Os dados extraídos dos questionários e das observações de campo permitem povoar a ontologia com instâncias reais, transformando a percepção dos estudantes em dados computacionalmente processáveis. As principais classes impactadas são:

- **Classe *EstadoAfetivo*:** As médias do SAM são processadas e geram vínculos com indivíduos como **:Engajamento** e **:Prazer**. Por exemplo, a atividade **:Modelagem3D** é instanciada como um evento que **gerouEstadoAfetivo** um **EstadoPositivo**.

- **Classe *RecursoPedagogico*:** Indivíduos como **:Tinkercad** e **:PrototipagemFisica** (Canetas 3D) deixam de ser conceitos abstratos e passam a ter propriedades que justificam o alto engajamento observado.

A principal contribuição da abordagem *bottom-up* é a capacidade de derivar axiomas de fechamento e regras lógicas baseadas em evidências reais. Com base nos resultados das oficinas, propõe-se a implementação futura dos seguintes axiomas na OntoBNCC:

1. **Axioma de Sugestão por Tangibilização:** Este axioma utiliza a escala SAM para sugerir recursos físicos quando a motivação é baixa:

$$\begin{aligned} & \text{Aluno}(?s) \wedge \text{FeedbackEstudante}(?f) \wedge \text{fornecidoPor}(?f, ?s) \wedge \\ & \text{temNotaMotivacao}(?f, ?n) \wedge \text{filter}(?n > 5) \implies \\ & \exists ?a, ?r (\text{AtividadePedagogica}(?a) \wedge \text{utilizaRecursoPedagogico}(?a, ?r) \wedge \\ & \text{RecursoPedagogico}(?r) \wedge \text{geraTangibilizacao}(?r)) \end{aligned} \quad (1)$$

Justificativa: Se um estudante estiver desmotivado, então será recomendado a ele um recurso de tangibilização física. A formalização lógica deste axioma expressa essa relação causal: as variáveis *s* (estudante), *f* (feedback) e *n* (nota de motivação) atuam restritamente no antecedente por comporem as restrições do gatilho condicional (a identificação do estado afetivo). Uma vez validado esse contexto de baixa motivação, o consequente opera a recomendação instanciando de forma independente a atividade (*?a*) e o recurso (*?r*) com propriedades de tangibilização. A formalização lógica deste axioma baseia-se nos resultados empíricos onde a **:AtividadePedagogica** voltada à fabricação digital obteve os maiores índices de engajamento, permitindo que o sistema identifique, via propriedade **:temNotaMotivacao** no **:FeedbackEstudante**, alunos (**:Aluno**) com motivação reduzida. A OntoBNCC utiliza então a propriedade **:utilizaRecursoPedagogico** para sugerir recursos de tangibilização física, estratégia eficaz para elevar o interesse discente.

2. **Axioma de Regulação de Carga Cognitiva:** Utiliza o nível da Taxonomia de Bloom mapeado na ontologia para prever a necessidade de mediação:

$$\begin{aligned} & \text{AtividadePedagogica}(?a) \wedge \text{desenvolveHabilidade}(?a, ?h) \wedge \\ & \text{Habilidade}(?h) \wedge \text{temNivelProcessoCognitivo}(?h, \text{Criar}) \implies \\ & \text{requerMediacao}(?a, \text{'Intervencionista'}) \end{aligned} \quad (2)$$

Justificativa: Fundamenta-se na relação entre complexidade cognitiva e motivação. A regra verifica se uma **:AtividadePedagogica** desenvolve habilidade mapeada no nível **:Criar**. Ao identificar este cenário de alta exigência intelectual via propriedade **:temNivelProcessoCognitivo**, a ontologia infere a necessidade de mediação "Intervencionista" para prevenir a frustração do aluno.

Os axiomas apresentados nas Equações 1 e 2 utilizam a sintaxe da Lógica de Descrição para formalizar o conhecimento extraído do chão de escola. No primeiro caso, utiliza-se o quantificador existencial ($\exists$) para assegurar que, diante de um estado de baixa motivação, o sistema

identifique ao menos um **RecursoPedagogico** capaz de gerar a tangibilização de um objeto físico, priorizando o engajamento prático. No segundo, estabelece-se uma restrição de valor baseada na propriedade **temNivelProcessoCognitivo**, vinculando habilidades de alta complexidade (como a instância **:Criar**) à necessidade de uma mediação docente intervencionista. Essa formalização permite que o motor de inferência da OntoBNCC processe os dados afetivos coletados e gere recomendações pedagógicas dinâmicas e fundamentadas.

A modelagem baseada nesses dados oferece três contribuições fundamentais para a área de Informática na Educação:

- **Personalização da Aprendizagem:** A ontologia permite que o sistema recomende instâncias de **AtividadePedagogica** não apenas pelo conteúdo técnico, mas pelo histórico afetivo dos alunos (**Aluno**) registrado via **FeedbackEstudante**.
- **Interoperabilidade com a BNCC:** Ao vincular sentimentos às instâncias da classe **Habilidade**, a OntoBNCC fornece aos professores um "termômetro" pedagógico, indicando quais competências do **:EIXO_PensamentoComputacional** são mais desafiadoras emocionalmente.
- **Validação de Conteúdo em Contextos Reais:** A ontologia atua como um repositório vivo que documenta a realidade de escolas que, como as do município de Santo Ângelo, ainda estão em processo de implementação das diretrizes de computação na educação básica.

5.3 Análise das Respostas dos Professores e Estudantes ao Instrumento SELFIE

Esta seção apresenta a análise das respostas dos professores e estudantes ao instrumento *"Self-reflection on Effective Learning by Fostering the use of Innovative Educational technologies"* - SELFIE (European Commission, 2022), aplicado como parte desta pesquisa. O SELFIE é uma ferramenta de autoavaliação customizável com o objetivo principal de auxiliar as instituições de ensino a diagnosticar como as tecnologias digitais são utilizadas para apoiar a aprendizagem, coletando percepções de gestores, professores e estudantes. Nesta pesquisa, o SELFIE possibilita que a realidade do "chão da escola" seja transposta para a lógica da OntoBNCC, identificando hiatos e sincronismos entre o que os professores ensinam e o que os alunos efetivamente aprendem. A ferramenta é organizada em domínios temáticos que cobrem as principais dimensões da cultura digital escolar, como: Colaboração e Comunicação, Infraestrutura, Pedagogia (Suportes e Recursos), Implementação Pedagógica em Sala de Aula, Práticas de Avaliação, e Competência Digital dos Estudantes.

Para demonstrar o uso do SELFIE na ontologia OntoBNCC, a Tabela 4 mapeia alguns dos questionamentos do Domínio Competência Digital dos Estudantes a ambos os grupos, correlacionando o que o professor afirma ensinar e o que o estudante afirma aprender.

Tabela 4: Comparativo de Itens - Área G: Competência Digital dos Estudantes.

Pergunta do Professor	Pergunta do Estudante
Na nossa escola, os alunos aprendem programação ou codificação .	Na nossa escola, eu aprendo programação ou codificação .
Na nossa escola, os alunos aprendem a resolver problemas técnicos ao usar tecnologias digitais.	Na nossa escola, eu aprendo a resolver problemas técnicos ao usar tecnologia.

A Tabela 5 detalha o sincronismo de percepções para este domínio final. Para estes questionamentos, foram 11 professores respondentes e 46 estudantes respondentes.

Tabela 5: Cruzamento Quantitativo - Domínio Competência Digital: Docentes vs. Discentes.

Item de Sincronismo	Grupo	Concordância (CT + C)	Neutralidade (NCD)	Discordância (D + DT)	N/A
Programação/Codificação	Prof.	3 (27,3%)	1 (9,1%)	7 (63,6%)	0 (0,0%)
	Est.	16 (34,8%)	18 (39,1%)	10 (21,7%)	2 (4,4%)
Resolução Prob. Técnicos	Prof.	3 (27,3%)	4 (36,4%)	4 (36,4%)	0 (0,0%)
	Est.	23 (50,0%)	14 (30,4%)	9 (19,6%)	0 (0,0%)

Nota: CT = Concordo totalmente; C = Concordo; NCD = Nem concordo, nem discordo; D = Discordo; DT = Discordo totalmente; NA = Não se aplica.

A análise deste domínio revela um panorama complexo sobre o letramento digital na instituição. O cruzamento dos dados permite identificar que o ponto de maior convergência negativa reside na Programação e Resolução de Problemas Técnicos, o que fundamentam a necessidade de intervenções pedagógicas, como a Cultura *Maker*.

O item Programação apresenta a maior taxa de discordância docente da pesquisa (63,6%) e a maior neutralidade discente (39,1%). Esse sincronismo de lacuna confirma que o Pensamento Computacional, embora seja um eixo estruturante da BNCC, ainda não encontrou espaço nas práticas pedagógicas vigentes, permanecendo como uma competência "latente", mas não desenvolvida.

Para o mapeamento ontológico e formalização de axiomas na OntoBNCC, a lacuna confirmada em programação define o gatilho para a recomendação de trilhas de aprendizagem vinculadas à classe **Habilidade** e ao **:EIXO_PensamentoComputacional**.

O axioma a seguir formaliza a necessidade de intervenção maker quando a competência técnica (programação) é identificada como deficiente em ambos os grupos, utilizando a propriedade de objeto **sugereAtividade**:

$$\begin{aligned} & \text{Habilidade}(?h) \wedge \text{identificadorHabilidade}(?h, 'EF07CO01') \wedge \text{lacuna}(?h) \wedge \\ & \text{pertenceACategoriaTematica}(?h, \text{EIXO_PensamentoComputacional}) \implies \quad (3) \\ & \text{sugereAtividade}(?h, \text{ATIV_2_MundoLego}) \end{aligned}$$

Justificativa do Axioma: Como o sincronismo entre professores e alunos confirmou que o ensino de codificação é a maior lacuna da instituição, a OntoBNCC utiliza a propriedade **sugereAtividade** para recomendar a instância **:ATIV_2_MundoLego**. Esta atividade introduz a lógica de programação de forma tangível, visando sanar o déficit identificado no SELFIE através do eixo de Pensamento Computacional.

5.4 Análise de Impacto: Percepção Discente no Pós-Oficinas

Ao término do ciclo de intervenções, foi aplicado o Questionário de Avaliação Pós-Oficinas com o objetivo de mensurar o impacto das atividades na percepção dos estudantes acerca da área de Computação. O instrumento capturou tanto métricas quantitativas quanto relatos qualitativos dos participantes, permitindo uma análise profunda do engajamento e da eficácia pedagógica.

A investigação sobre o que os estudantes mais apreciaram aprender revelou um índice elevado de satisfação abrangente sobre as oficinas, a resposta *"Tudo"* foi a mais recorrente, totalizando 11 menções (23,9%), o que sinaliza que a diversidade da proposta pedagógica foi bem recebida. No que tange aos recursos específicos, a Caneta 3D obteve destaque individual com 8 citações (17,4%), seguida por um equilíbrio entre temas como Circuitos Elétricos, Tecnologia, *LEGO4Scrum* e Modelagem 3D, todos com 6 menções cada (13,0%). Conhecimentos sobre Óculos de RV (4), Noções de Informática (3) e Robótica (2) também foram pontuados, além de menções isoladas a Inovação e Jogos.

Complementarmente, ao serem questionados sobre o equipamento ou atividade mais interessante, os dados apontam para o protagonismo da fabricação digital e da imersão: a Caneta 3D liderou com 20 menções (43,5%), seguida de perto pelos Óculos de RV com 19 escolhas (41,3%). O uso do LEGO também demonstrou relevância significativa para 11 respondentes (23,9%), enquanto ferramentas como Arduino e Scratch registraram citações pontuais. Estes resultados sugerem que a tangibilização do conhecimento através de recursos físicos e experiências imersivas são vetores primordiais de interesse no contexto dos Anos Finais do Ensino Fundamental.

Já a percepção de ganho de conhecimento foi validada por um consenso absoluto: todos os participantes (100%) afirmaram que as oficinas auxiliaram em uma compreensão mais clara sobre a Computação e seu impacto tecnológico na sociedade. Esse impacto reflete-se no desejo de continuidade nos estudos, manifestado pela maioria dos estudantes (97,8%), contra apenas um relato de desinteresse futuro pela área específica.

Qualitativamente, a vivência foi descrita através de termos como “maravilhosa”, “incrível” e “cativante”, indicando que a experiência ajudou a “abrir a mente” e gerou um estado de animação crescente. Os relatos apontam para uma percepção de utilidade prática do conhecimento (“utilizar na vida”), reforçando o papel da tecnologia como facilitadora da aprendizagem geral. Observou-se que a natureza tangível da cultura *maker* atuou como catalisador de protagonismo, onde até mesmo frustrações pontuais, como a limitação de tempo para finalizar objetos na Caneta 3D, evidenciam o alto nível de expectativa e o desejo de interação direta com os recursos.

Por fim, os dados coletados revelam que a integração entre pensamento lógico, circuitos elétricos e metodologias ágeis em um ambiente *maker* promove um cenário de elevado engajamento. A transição da curiosidade técnica para a compreensão conceitual da Computação foi ratificada pela vasta maioria, consolidando a estratégia de utilização de recursos como RV e fabricação digital como ferramentas eficazes para o despertar vocacional e o letramento digital dos estudantes.

6 Engenharia da ontologia OntoBNCC

O desenvolvimento da ontologia OntoBNCC, apoiado pelo *software* Protégé, baseou-se nas sete etapas da Metodologia 101 (Noy e McGuinness, 2001, sendo elas: 1) Definição do domínio e escopo; 2) Reúso de ontologias educacionais; 3) Listagem de termos relevantes; 4) Definição de classes e hierarquia; 5) Definição das propriedades das classes; 6) Definição das restrições e regras; e 7) Criação de instâncias.

6.1 Definição do Domínio e Escopo

O escopo foi delimitado pela BNCC de Computação, com uma arquitetura extensível para toda a Educação Básica (Brasil, 2017, 2022). Para verificar a abrangência da ontologia, definiram-se Questões de Competência (QC), algumas delas estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Questões de Competência (QC).

Item	Questão de Competência	Grupo
QC1	Quais habilidades e objetos de conhecimento específicos de Computação devem ser desenvolvidos com os alunos do 6º ao 9º ano do Ensino Fundamental?	Estrutural
QC2	Qual é a descrição e os exemplos de aplicação para a habilidade (EF06CO04) ' <i>Construir soluções de problemas usando a técnica de decomposição</i> '?	Estrutural
QC3	Quais Atividades Pedagógicas foram capazes de despertar estados de <i>alta motivação</i> e <i>satisfação</i> nos estudantes, segundo os critérios afetivos estabelecidos?	Afetivo
QC4	Quais Atividades Pedagógicas são recomendadas para desenvolver a habilidade (EF06CO04) considerando um histórico comprovado de engajamento discente?	Inferência
QC5	Dado um perfil demográfico (ex: estudantes do gênero feminino do 9º ano), quais atividades possuem maior probabilidade de gerar <i>identificação</i> e <i>motivação</i> ?	Inferência

As QCs foram agrupadas por tipo de resposta em relação à BNCC em que a ontologia deve atuar: 1) Estrutural refere-se aos dados estruturais da modelagem; 2) Afetivo refere-se aos dados obtidos através dos questionários SAM; 3) Inferência refere-se ao cruzamento de informações necessário para responder às questões.

6.2 Reúso de Ontologias Educacionais

Nesta etapa, buscou-se a interoperabilidade semântica através do reúso de ontologias educacionais consolidadas. A modelagem integrou conceitos de Competências e Habilidades, Objetos de Aprendizagem e Estados Afetivos, alinhando-se a trabalhos como a OntoCompEdu (Simon, 2018) e a OntoUaffect (Dorneles et al., 2025), já citados na Subseção 2.4.

Na versão inicial da OntoBNCC foi realizada a modelagem conceitual sobre aspectos comportamentais, como as Competências e as Habilidades que devem ser desenvolvidas na Educação Básica. Posteriormente, as classes relacionadas aos Objetos de Aprendizagem foram adicionadas assim como, os Estados Afetivos. Os termos reutilizados estão relatados na Tabela 7.

6.3 Listagem de conceitos e termos relevantes

A etapa do **Ensino Fundamental** da BNCC está dividida em **Áreas do Conhecimento**, que por sua vez estão divididas em **Componentes Curriculares**. Cada componente possui **Competências Específicas** que devem ser desenvolvidas durante o **Ano**, através das **Unidades Temáticas** (ou **Práticas** ou **Eixos**) e dos **Objetos do Conhecimento** para o desenvolvimento das **Habilidades**. Cada habilidade está associada a **Recursos Pedagógicos** que poderão ser usados no seu desenvolvimento. As palavras em negrito formam o conjunto dos principais termos da ontologia encontrados nos documentos oficiais da BNCC (Brasil, 2017).

Tabela 7: Reutilização e Alinhamento de Conceitos a partir de ontologias de referência.

Fonte (Ontologias)	Tipo de Reutilização	Conceito(s) Reutilizado(s) / Alinhado(s)
Silva (2017) e Oliveira (2018)	Mapeamento Direto	• Estudante → Aluno • Professor → Professor • Recurso → RecursoPedagogico • ObjetivoEducacional → TaxonomiaBloomRevisada • Verbo (classe) → verboHabilidade (propriedade)
OntoObAdi Forrati et al., (2025)	Mapeamento Análogo	• Autor → Pessoa • Objeto de Aprendizagem Digital → AtividadePedagogica • Interatividade → TaxonomiaBloomRevisada
OntoCompEdu Simon (2018)	Mapeamento Direto	• CompetenciaGeral → CompetenciaGeral • Habilidade → Habilidade • CompetenciaEspecificas → CompetenciaEspecificasComponente
OntoUaffect Dorneles et. al. (2025)	Mapeamento Direto	• Person → Pessoa • Localization → Localizacao • AffectiveState → EstadoAfetivo • LearningSituation → AtividadePedagogica • LearningGoal → Habilidade

6.4 Definição de Classes e Hierarquia

Partindo de uma abordagem *bottom-up* (Isotani & Bittencourt, 2015), onde o objetivo é encontrar recursos educacionais para o desenvolvimento de uma habilidade, a classe de ponto de partida é a que representa esta necessidade: "**Habilidade**". Juntamente, a classe "**RecursoPedagogico**" é tão importante quanto, e é uma das pontes com ontologias existentes.

A estrutura central da ontologia é composta por seis classes principais:

- **Habilidade**: são as habilidades previstas no documento da BNCC para o componente curricular de Computação. Inclui propriedades como *identificadorHabilidade*, *verboHabilidade* e *descricaoHabilidade*.
- **ObjetoConhecimento**: representa os conteúdos, como tipos de dados, linguagem de programação, *cyberbullying* entre outros, vinculados a uma ou mais habilidades.
- **AtividadePedagogica**: descreve ações realizadas pelos estudantes, tais como construir um algoritmo, programar um robô, ou desenvolver um protótipo.
- **RecursoPedagogico**: recursos materiais ou digitais utilizados nas atividades, como kits de robótica, plataformas online, softwares de modelagem 3D, etc.
- **Competências**: as competências gerais e específicas da BNCC.
- **EstadoAfetivo**: sentimentos observados durante a execução das atividades pedagógicas.

A Figura 3 apresenta o diagrama de classes da ontologia, em OntoUML (Guizzardi, 2005).

As relações entre essas classes foram modeladas com base em propriedades de objeto, como:

- `possuiNivelAprendizagem(Habilidade, TaxonomiaBloomRevisada)`
- `possuiRecursoPedagogico(AtividadePedagogica, RecursoPedagogico)`
- `possuiHabilidade(ComponenteCurricular, Habilidade)`



Figura 3: Diagrama de classes da OntoBNCC em OntoUML - Visão Geral.

A Figura 4, apresenta a ontologia desenvolvida na ferramenta Protégé 5.6.5, ilustrando todas as classes modeladas.

6.5 Definição das propriedades das classes da ontologia

Nesta etapa foram estabelecidas as propriedades *Object Properties* e *Data Properties*, que permitem associar as classes entre si e descrever atributos específicos.

As propriedades de objetos definem os relacionamentos semânticos entre instâncias, como `desenvolveHabilidade` e `sugereAtividade`. Já as propriedades de dados registram valores literais, como as notas `temNotaMotivacao` oriundas da escala SAM.

A Figura 5 apresenta a visão hierárquica das classes e subclasses, propriedades de objeto e atributos das classes.

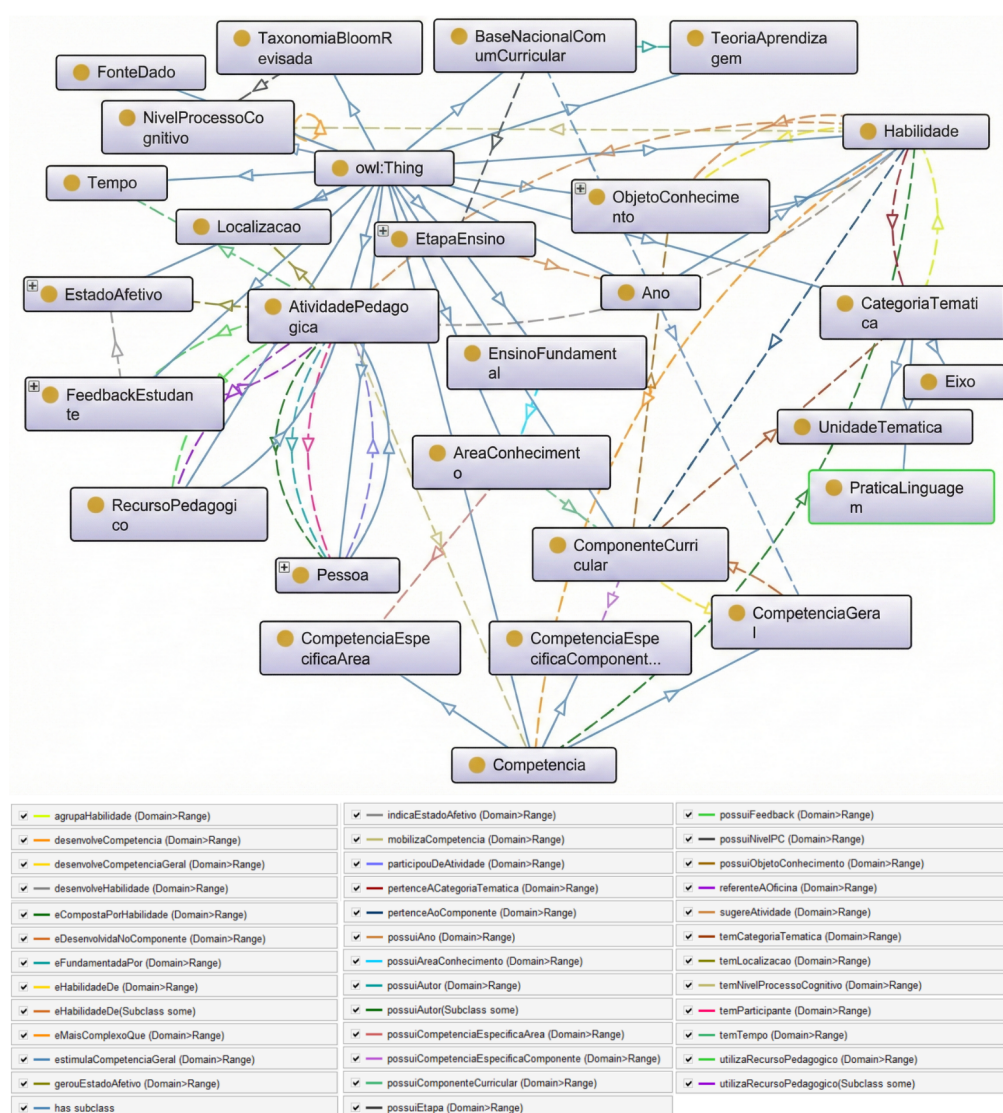


Figura 4: Visão geral da ontologia modelada no Protégé.

6.6 Definição das restrições e regras

Esta etapa formaliza a lógica que permite à OntoBNCC atuar como uma infraestrutura de conhecimento para Sistemas Inteligentes. A inteligência do modelo foi implementada em dois níveis complementares: restrições de classe em OWL (*Web Ontology Language*) para garantir a integridade estrutural e regras de inferência em SWRL (*Semantic Web Rule Language*) para o processamento de dados dinâmicos.

Restrições de Classe e Consistência Lógica

As restrições OWL definem o comportamento rigoroso do domínio, funcionando como uma barreira lógica contra inferências inconsistentes. Destacam-se:

- **Restrições de Cardinalidade:** Aplicadas à classe *FeedbackEstudante* para assegurar

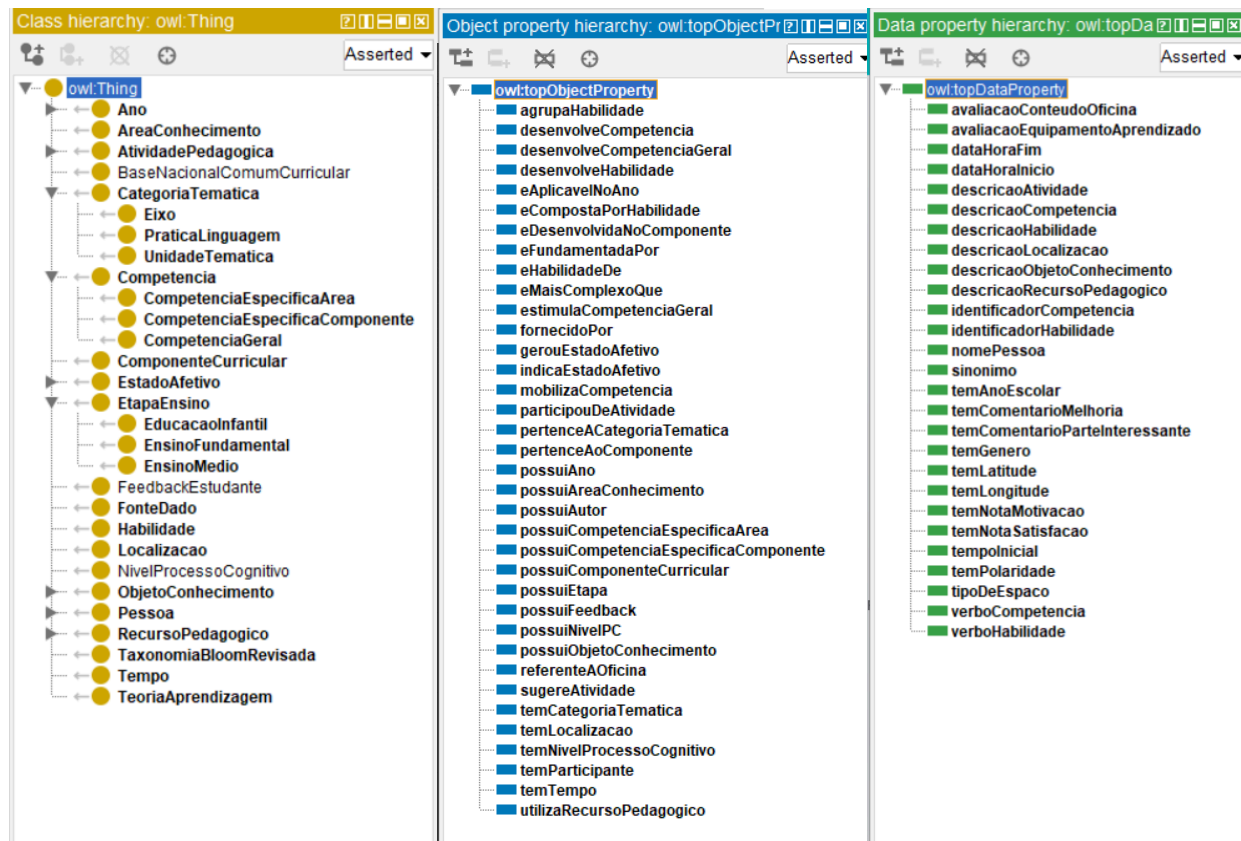


Figura 5: Classes e propriedades da ontologia.

o rastreo unívoco da experiência: cada registro deve ser `fornecidoPor` exatamente uma `Pessoa` e ser `referenteAOficina` a exatamente uma `AtividadePedagogica`.

- **Classes Equivalentes:** A classe `Atividade_Alto_Engajamento` utiliza um axioma de fecho para agrupar automaticamente qualquer `AtividadePedagogica` que possua relação inversa com, no mínimo, 20 instâncias de `FeedbackEstudante` classificadas com um `EstadoPositivo`. Esta formalização garante que a classificação de sucesso pedagógico seja baseada em evidências empíricas e não em padrões estatísticos arbitrários.

Raciocínio Lógico e Transposição Semântica (SWRL)

As regras SWRL permitem que sistemas inteligentes processem a subjetividade capturada no "chão da escola", convertendo valores numéricos (escala SAM) em fatos computáveis. Conforme proposto por Primo e Vicari (2012), esse raciocínio é vital para que o sistema reconheça variáveis complexas e evite respostas descontextualizadas.

1. **Identificação de Estado Positivo:** Converte a percepção discente em valor semântico. Notas de motivação ou satisfação inferiores a 4 (onde 1 representa o ápice positivo) disparam o vínculo automático com a classe `EstadoPositivo`.

$$\begin{aligned} & \text{FeedbackEstudante}(?f) \wedge \text{temNotaMotivacao}(?f, ?n) \wedge \\ & \text{swrlb : lessThan}(?n, 4) \implies \text{indicaEstadoAfetivo}(?f, \text{EstadoPositivo}) \end{aligned} \quad (4)$$

2. **Deteção de Necessidade de Apoio:** Notas superiores a 6 associam o *feedback* a um *EstadoNegativo*, sinalizando a necessidade de intervenção pedagógica imediata.
3. **Suporte Decisório Adaptativo:** Esta regra cruza o perfil do aluno com o histórico de êxito das atividades.

Se um *Estudante* pertence a um *Ano* escolar onde uma *AtividadePedagogica* foi validada como de *Alto_Engajamento*, o sistema dispara a propriedade *sugereAtividade*.

Essas formalizações conferem à OntoBNCC a capacidade de processar a subjetividade discente de forma personalizada. Ao ancorar o processamento em axiomas rígidos, o modelo impede que o sistema inteligente siga padrões probabilísticos restritos, garantindo que as trilhas de aprendizagem sugeridas estejam sempre em conformidade com a BNCC e com a realidade empírica observada.

6.7 Criação de instâncias

Esta etapa consiste no povoamento da ontologia com os dados reais do domínio de estudo. Na ontologia OntoBNCC, esta fase foi fundamental para transformar o modelo conceitual em uma base de conhecimento operacional, integrando o currículo prescrito aos dados coletados no "chão da escola" no município de Santo Ângelo.

O povoamento foi estruturado em três níveis hierárquicos:

- **Nível Curricular:** Foram instanciadas as 54 habilidades de Computação previstas no anexo da BNCC para os Anos Finais. Cada habilidade, identificada pelo prefixo *HAB_EF . . .*, foi vinculada aos seus respectivos componentes e áreas do conhecimento por meio da propriedade *pertenceAoComponente*.
- **Nível de Infraestrutura e Recursos:** Foram criados indivíduos para representar os recursos pedagógicos utilizados nas oficinas, como o *REC_Caneta3D*, *REC_Tinkercad* e o *REC_RV_BeatSaber*. Estes indivíduos possuem descrições técnicas e comentários pedagógicos via propriedades de anotação (*Annotation Properties*).
- **Nível de Evidências Empíricas:** Contém um volume de 184 registros de estudantes e seus respectivos registros de *feedback*.

Estes dados permitem que o motor de inferência processe as notas da escala SAM armazenadas em *temNotaMotivacao* e gere novas relações semânticas. Por exemplo, o sistema agora é capaz de identificar quais oficinas alcançaram o status de *Atividade_Alto_Engajamento* para o perfil de alunos do 9º ano, automaticamente, validando a eficácia da modelagem para o suporte à decisão pedagógica.

A seguir, apresenta-se um exemplo simplificado da codificação OWL (formato XML) de um indivíduo correspondente à habilidade *HAB_EF06CO01*, extraído diretamente do arquivo final da ontologia. O exemplo demonstra como cada metadado da BNCC é mapeado para sua respectiva propriedade de dados (*Data Property*):

```

<DataPropertyAssertion>
  <DataProperty IRI="#identificadorHabilidade"/>
  <NamedIndividual IRI="#HAB_EF06C001"/>
  <Literal>EF06C001</Literal>
</DataPropertyAssertion>
<DataPropertyAssertion>
  <DataProperty IRI="#descricaoHabilidade"/>
  <NamedIndividual IRI="#HAB_EF06C001"/>
  <Literal>Classificar informações, agrupando-as em
  coleções (conjuntos) e associando cada coleção a um
  tipo de dado.</Literal>
</DataPropertyAssertion>
<DataPropertyAssertion>
  <DataProperty IRI="#verboHabilidade"/>
  <NamedIndividual IRI="#HAB_EF06C001"/>
  <Literal>Classificar</Literal>
</DataPropertyAssertion>

```

Esse modelo de instanciação permite que o motor de inferência processe os enunciados normativos da BNCC como dados estruturados, viabilizando a análise automática das habilidades desenvolvidas durante as experiências pedagógicas realizadas com os estudantes.

6.8 Validação Conceitual e Mapeamento da Experiência

A partir da síntese dos cinco encontros, observou-se que a modelagem semântica proposta pela OntoBNCC foi capaz de instanciar não apenas os conceitos técnicos (Habilidades de Computação), mas também a dimensão pragmática das oficinas Maker. A triangulação entre as ações práticas dos alunos, as habilidades correspondentes e as classes da ontologia demonstrou consistência semântica em todas as etapas.

A Tabela 8 exemplifica como a experiência subjetiva dos alunos nas oficinas Maker foi convertida em dados ontológicos concretos. Ao instanciar a classe *EstadoAfetivo* com as diferentes emoções capturadas, a ontologia permitiu não apenas o rastreamento das emoções, mas também sua associação direta com os recursos pedagógicos utilizados. Esse rastreamento fundamenta a futura camada de recomendação do sistema, provando que é possível inferir necessidades pedagógicas a partir de registros de atividades diversificadas. Com isso, o estudo de caso validou a estrutura da ontologia em um cenário real de "chão de escola".

A OntoBNCC demonstrou robustez na representação de três eixos fundamentais:

- **Cognitivo:** Mapeamento das Habilidades e Objetivos de Aprendizagem;
- **Afetivo:** Capacidade de instanciar estados emocionais (frustração, engajamento) durante a resolução de problemas;
- **Material:** Associação coerente entre atividades e recursos pedagógicos.

Os resultados preliminares indicaram que a OntoBNCC mostrou-se adequada para apoiar a elaboração de práticas pedagógicas e favorecer a reflexão sobre os impactos das atividades no processo de ensino-aprendizagem. Além disso, a representação formal do conhecimento envolvido

Tabela 8: Mapeamento semântico das observações dos Encontros.

Elemento do Encontro	Classe na Ontologia	Instância/Valor
Realidade Virtual (<i>Beat Saber</i>)	<i>RecursoPedagogico</i>	RV_BeatSaber_01
Empolgação	<i>EstadoAfetivo</i>	Empolgacao_AltaExcitacao
BNCC: Cultura Digital	<i>CompetenciaGeral</i>	CG05_CulturaDigital
Reação ao Erro (Riso)	<i>EstadoAfetivo</i>	Resiliencia_Positiva
Frustração (Início da tarefa)	<i>EstadoAfetivo</i>	Frustracao_ValenciaNegativa
Malha de Pixel Art	<i>RecursoPedagogico</i>	PixelArt_Analogico
Decomposição de Problemas	<i>Habilidade</i>	EF06CO04
Soluções Colaborativas	<i>Habilidade</i>	EF07CO01
Foco e Concentração	<i>EstadoAfetivo</i>	Fluxo_ValenciaPositiva
Ansiedade (Pressão Temporal)	<i>EstadoAfetivo</i>	Estresse_ValenciaPositiva
Simulador Tinkercad	<i>RecursoPedagogico</i>	Tinkercad_Arduino
Curiosidade Inicial	<i>EstadoAfetivo</i>	Curiosidade_AltaExcitacao
Satisfação com o Resultado	<i>EstadoAfetivo</i>	Satisfacao_Positiva
Publicação no Tinkercad	<i>Habilidade</i>	EF07CO11
Canetas / Impressora 3D	<i>RecursoPedagogico</i>	Prototipagem_Fisica
Liberdade de Design	<i>EstadoAfetivo</i>	Autonomia_Criativa
Entrega do Objeto Físico	<i>EstadoAfetivo</i>	Satisfacao_Autoeficacia

nas oficinas abre caminhos para o desenvolvimento de sistemas computacionais de apoio ao professor, como repositórios inteligentes e mecanismos de recomendação pedagógica. Dessa forma, a ontologia cumpre seu papel de infraestrutura de conhecimento, habilitando a interoperabilidade entre o currículo prescrito (BNCC) e a prática da sala de aula.

7 Resultados e Discussão

A validação da OntoBNCC demonstrou sua capacidade de atuar como infraestrutura de conhecimento para Sistemas Inteligentes, respondendo a Questões de Competência (QCs), apresentadas na Tabela 6, em três dimensões: domínio curricular, diagnóstico afetivo e suporte à decisão. Diferente de modelos probabilísticos propensos a inconsistências, a ontologia utiliza inferência lógica sobre a *ABox* (*Assertion Box*, o componente da ontologia que armazena os dados reais e os exemplos concretos do cenário escolar, em contraste com a *TBox* ou *Terminology Box*, que define as regras e conceitos gerais) para garantir que a recuperação de informações pedagógicas esteja ancorada em axiomas formais e evidências reais (Baader et al., 2003).

É importante ressaltar que não foi realizada a identificação nominal dos alunos que responderam aos questionários por razões de anonimização e ética em pesquisa. Devido a essa restrição, não é possível rastrear o progresso individual de um mesmo estudante entre os encontros; no entanto, essa abordagem permitiu consolidar um volume total de 184 registros de *feedback*, resultantes da participação dos 46 estudantes nas quatro oficinas em que o instrumento SAM foi aplicado.

7.1 Domínio Curricular (QC1 e QC2), Diagnóstico Afetivo e Contextos de Engajamento (QC3)

A modelagem estrutural (QC1 e QC2) garantiu a recuperação fidedigna da norma. O diferencial reside no **Diagnóstico Afetivo**, onde o raciocinador *Pellet* processa regras SWRL (*Semantic Web Rule Language*) para realizar a transposição semântica de dados brutos da escala SAM em estados qualitativos fidedignos, reduzindo ambiguidades interpretativas.

A eficácia dessa transposição é comprovada pelo cruzamento dos resultados técnicos com os dados empíricos. Observou-se que a resposta obtida via consulta SPARQL (Figura 7), que identificou a oficina de Modelagem 3D (ATIV_4_Modelagem3D) como a de maior índice de engajamento, coincide precisamente com os dados coletados nos questionários de diagnóstico e pós-oficina detalhados na Seção 5. Essa convergência entre o processamento automatizado e a realidade observada em sala de aula comprova que as associações da modelagem e as regras de inferência estão corretamente calibradas para representar o domínio.

Transposição Semântica via SWRL: A Equação 5 ilustra esse aspecto. O uso de intervalos assegura que o sistema inteligente identifique a motivação discente de forma resiliente a variações nos dados brutos:

$$\begin{aligned} &\text{FeedbackEstudante}(?f) \wedge \text{temNotaMotivacao}(?f, ?n) \wedge \\ &\text{swrlb : lessThan}(?n, 4) \implies \text{indicaEstadoAfetivo}(?f, \text{AFETO_MuitoMotivado}) \end{aligned} \quad (5)$$

Formalização e Classificação de Engajamento: Para estabilizar esse conhecimento, a ontologia utiliza axiomas de classe que definem automaticamente o conceito de uma “Oficina de Alto Engajamento”. Priorizaram-se *Restrições Existenciais* (*some*) para garantir a decidibilidade e performance do sistema frente ao volume de dados da *ABox*. A Listagem 1 apresenta a implementação em sintaxe Manchester, e a Equação 6 detalha a formalização em Lógica de Descrição:

Listing 1: Implementação do axioma em sintaxe Manchester.

```
Class: Atividade_Alto_Engajamento
EquivalentTo:
  AtividadePedagogica
  and (inverse (referenteAOficina) some (indicaEstadoAfetivo some ({AFETO_MuitoMotivado})))
```

$$\begin{aligned} &\text{Atividade_Alto_Engajamento} \equiv \text{AtividadePedagogica} \sqcap \\ &\exists \text{referenteAOficina}^-. (\exists \text{indicaEstadoAfetivo}. \{ \text{AFETO_MuitoMotivado} \}) \end{aligned} \quad (6)$$

Validação via SPARQL: A fidedignidade do modelo foi comprovada pela Figura 6, onde instâncias como ATIV_4_Modelagem3D foram automaticamente reclassificadas pelo raciocinador.

Para a recuperação final das evidências (QC3), utilizou-se a consulta SPARQL apresentada na Figura 7.

Ao processar esses axiomas sobre o histórico empírico, a ontologia elimina a subjetividade do sistema inteligente, fornecendo ao docente um catálogo de boas práticas ancorado em evidências reais de motivação, validando o potencial de tecnologias imersivas no contexto educacional aplicado.

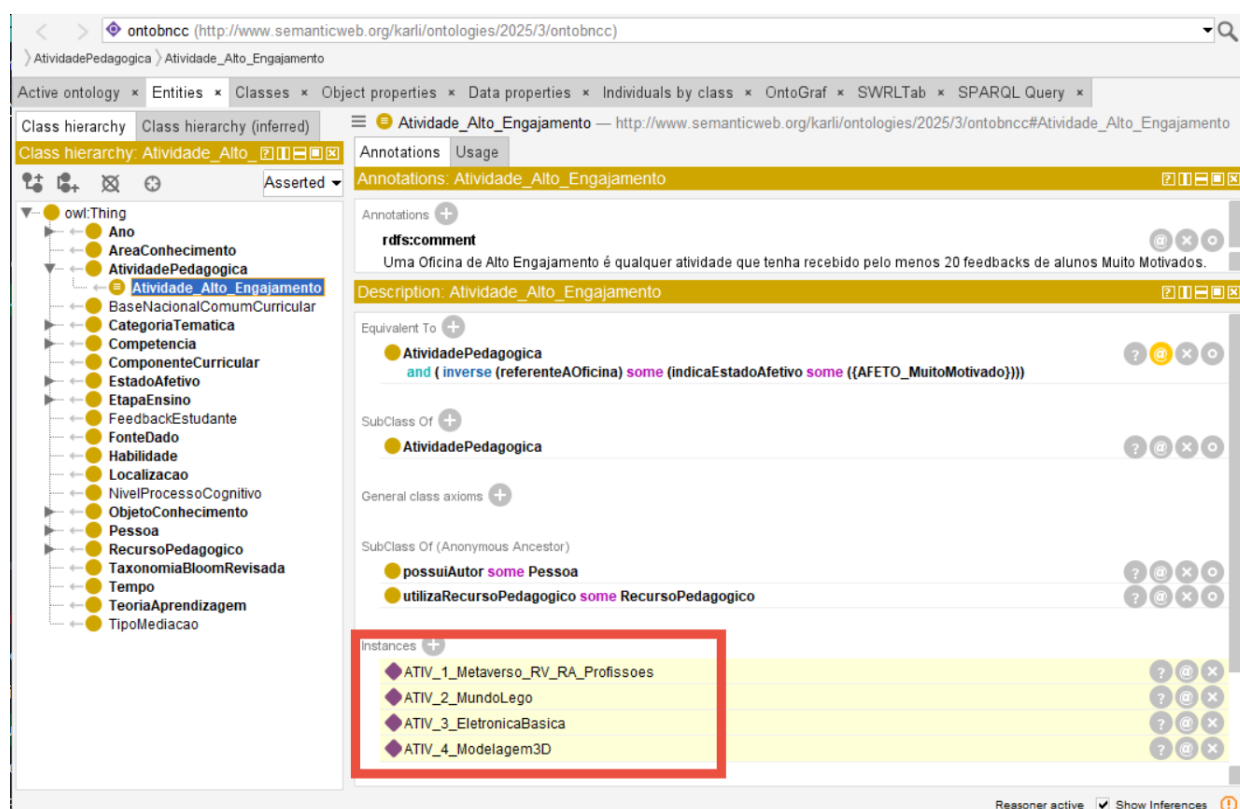


Figura 6: Inferência de classificação automática na OntoBNCC: O raciocinador identifica quais oficinas pertencem à classe de Alto Engajamento baseando-se nas regras de afeto.

SPARQL query:	
<pre> PREFIX bncc: <http://www.semanticweb.org/karli/ontologies/2025/3/ontobncc#> PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> SELECT ?atividade (COUNT(?feedback) AS ?qtdAlunosMotivados) WHERE { ?feedback bncc:referenteAOficina ?atividade . # Utiliza a inferência SWRL de Afeto ?feedback bncc:indicaEstadoAfetivo bncc:AFETO_MuitoMotivado . } GROUP BY ?atividade HAVING (?qtdAlunosMotivados > 0) ORDER BY DESC(?qtdAlunosMotivados) </pre>	
atividade	qtdAlunosMotivados
ATIV_4_Modelagem3D	"27"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
ATIV_1_Metaverso_RV_RA_Profissoes	"22"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
ATIV_2_MundoLego	"20"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
ATIV_3_EletronicaBasica	"16"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

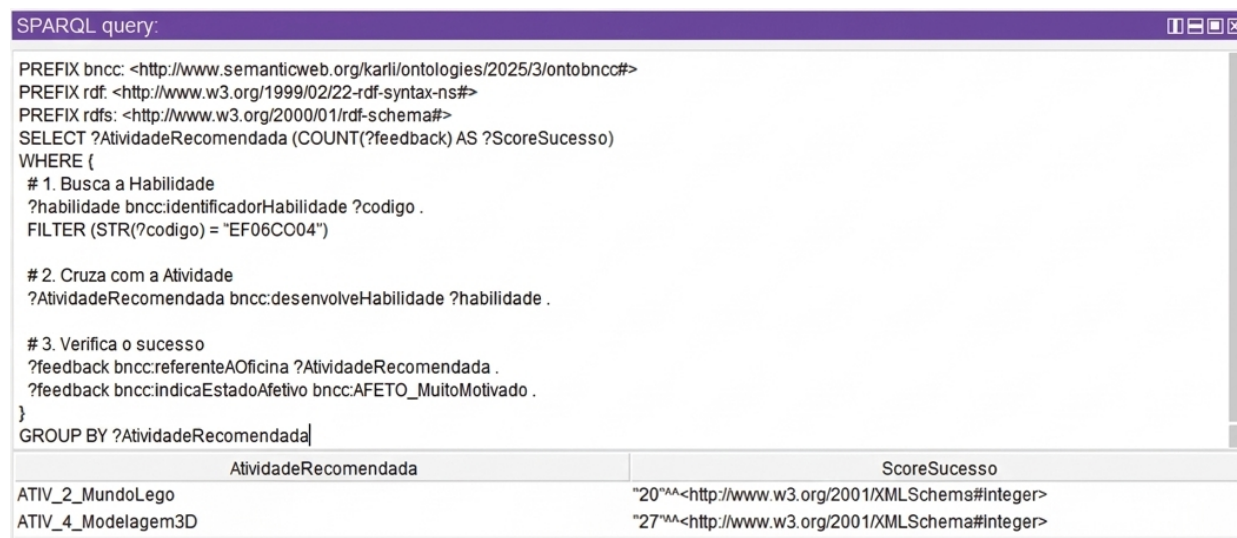
Figura 7: Consulta SPARQL da QC3: contexto de engajamento.

7.2 Suporte Inteligente à Decisão Baseado em Evidências (QC4)

Diferente de sistemas convencionais baseados apenas em metadados curriculares, este modelo utiliza a consistência lógica para recomendar atividades que apresentaram maior engajamento discente no contexto real. Para operacionalizar esse suporte, o sistema inteligente utiliza a definição

formal de *Atividade_Alto_Engajamento* estabelecida na Equação 6, assegurando que o sistema não realize recomendações inconsistentes, vinculando a sugestão obrigatoriamente a um histórico de afeto positivo comprovado em contextos reais.

Validação via SPARQL (QC4): A aplicação prática desse suporte foi testada na busca por estratégias para desenvolver a habilidade EF06CO04 (Decomposição). O sistema identificou duas candidatas aptas: *Mundo Lego* e *Modelagem 3D*. Contudo, a ontologia (Figura 8) priorizou a segunda devido ao volume superior de estados AFETO_MuitoMotivado inferidos previamente.



SPARQL query:

```

PREFIX bncc: <http://www.semanticweb.org/karli/ontologies/2025/3/ontobncc#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
SELECT ?AtividadeRecomendada (COUNT(?feedback) AS ?ScoreSucesso)
WHERE {
  # 1. Busca a Habilidade
  ?habilidade bncc:identificadorHabilidade ?codigo .
  FILTER (STR(?codigo) = "EF06CO04")

  # 2. Cruza com a Atividade
  ?AtividadeRecomendada bncc:desenvolveHabilidade ?habilidade .

  # 3. Verifica o sucesso
  ?feedback bncc:referenteAOficina ?AtividadeRecomendada .
  ?feedback bncc:indicaEstadoAfetivo bncc:AFETO_MuitoMotivado .
}
GROUP BY ?AtividadeRecomendada

```

AtividadeRecomendada	ScoreSucesso
ATIV_2_MundoLego	"20"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
ATIV_4_Modelagem3D	"27"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

Figura 8: Consulta SPARQL da QC4: Suporte à decisão priorizando atividades com maior evidência de engajamento.

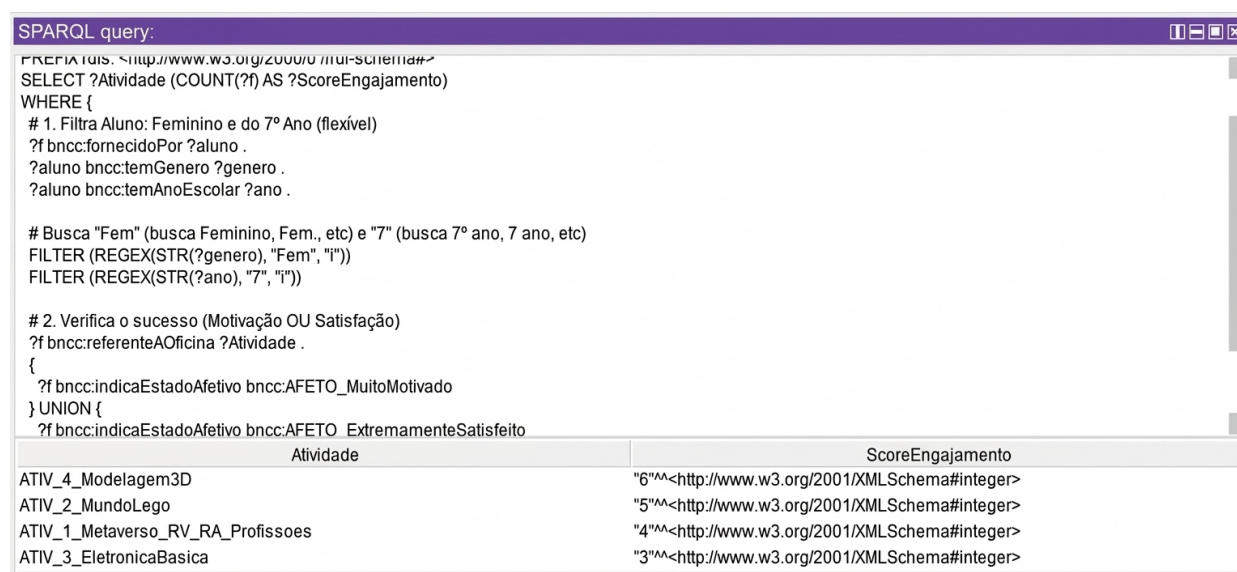
Dessa forma, a ontologia oferece um subsídio decisório tangível ao docente. Ao processar a interseção entre o currículo e o histórico afetivo, o sistema inteligente evita recomendações baseadas em padrões estatísticos genéricos, garantindo que a escolha pedagógica esteja ancorada na eficácia empírica observada no ambiente escolar.

7.3 Análise de Engajamento por Perfil Demográfico (QC5)

A capacidade de um sistema inteligente lidar com a diversidade do corpo discente é fundamental para evitar generalizações imprecisas. A QC5 ("*Quais atividades geram maior motivação para perfis específicos?*") valida a OntoBNCC como uma ferramenta de análise granular, permitindo que o suporte à decisão considere variáveis demográficas como gênero e ano escolar.

Enquanto modelos puramente estatísticos podem sugerir atividades baseadas em médias globais, a ontologia realiza uma fundamentação baseada em evidências ao cruzar os indivíduos da classe *Estudante* com seus respectivos históricos de *AFETO_MuitoMotivado*. A consulta SPARQL apresentada na Figura 9 ilustra como o sistema filtra evidências para um perfil específico (ex: estudantes do gênero feminino do 7º ano).

Esta abordagem assegura que a personalização das trilhas de aprendizagem não seja resultado de uma "alucinação" algorítmica sobre preferências presumidas, mas sim de uma recuperação de conhecimento baseada em fatos. Ao identificar que determinadas oficinas possuem maior aderência em subgrupos específicos, o sistema inteligente provê ao gestor pedagógico dados fide-



SPARQL query:

```

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
SELECT ?Atividade (COUNT(?f) AS ?ScoreEngajamento)
WHERE {
  # 1. Filtra Aluno: Feminino e do 7º Ano (flexível)
  ?f bncc:fornecidoPor ?aluno .
  ?aluno bncc:temGenero ?genero .
  ?aluno bncc:temAnoEscolar ?ano .

  # Busca "Fem" (busca Feminino, Fem., etc) e "7" (busca 7º ano, 7 ano, etc)
  FILTER (REGEX(STR(?genero), "Fem", "i"))
  FILTER (REGEX(STR(?ano), "7", "i"))

  # 2. Verifica o sucesso (Motivação OU Satisfação)
  {
    ?f bncc:referenteAOficina ?Atividade .
    {
      ?f bncc:indicaEstadoAfetivo bncc:AFETO_MuitoMotivado
    } UNION {
      ?f bncc:indicaEstadoAfetivo bncc:AFETO_ExtremamenteSatisfeito
    }
  }
}

```

Atividade	ScoreEngajamento
ATIV_4_Modelagem3D	"6"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
ATIV_2_MundoLego	"5"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
ATIV_1_Metaverso_RV_RA_Profissoes	"4"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
ATIV_3_EletronicaBasica	"3"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

Figura 9: Consulta SPARQL da QC5: Identificação de padrões de engajamento por perfil demográfico.

dignos para o planejamento de intervenções mais inclusivas e eficazes.

Dessa forma, a OntoBNCC consolida-se como uma infraestrutura que respeita a subjetividade do aluno. A integração entre os dados demográficos e as inferências de afeto permite que a tomada de decisão pedagógica seja, ao mesmo tempo, rigorosa em termos normativos e sensível às particularidades do contexto escolar aplicado.

8 Considerações Finais

A trajetória percorrida nesta pesquisa buscou dialogar com os desafios contemporâneos da implementação da BNCC de Computação, reconhecendo que a transição entre a esfera normativa e a prática pedagógica exige esforços que transcendem a simples disponibilização de currículos. Ao longo deste trabalho, procurou-se demonstrar como a integração entre a Engenharia Ontológica e a Educação *Maker* pode oferecer caminhos para apoiar o planejamento docente, transformando a complexidade das habilidades curriculares em uma infraestrutura de conhecimento operável e sensível ao contexto.

A pesquisa partiu da identificação de lacunas estruturais e metodológicas na sala de aula. A modelagem não se restringiu à norma, mas buscou uma abordagem *bottom-up*, investigando o "chão da escola" através de oficinas de Computação e Cultura Maker, integrando requisitos extraídos diretamente do cotidiano escolar por meio de diagnósticos iniciais e do instrumento SELFIE.

O desenvolvimento da OntoBNCC seguiu a Metodologia 101, unindo teorias pedagógicas, como a Taxonomia de Bloom, a padrões semânticos de interoperabilidade. A formalização de conceitos em OWL e o uso de regras SWRL permitiram que o sistema realizasse o raciocínio lógico sobre variáveis complexas, o que contribui para evitar respostas descontextualizadas ou inferências sem suporte na base de conhecimento.

O estudo de caso com 46 estudantes e 11 professores permitiu testar a robustez do modelo frente a dados reais de engajamento e motivação capturados via instrumento SAM. Os resultados sugerem que a ontologia é capaz de instanciar a dimensão subjetiva do aprendizado, transformando as respostas afetivas em subsídios processáveis para o suporte à decisão pedagógica.

Entende-se que as soluções tecnológicas aqui exploradas não substituem o discernimento pedagógico do docente, mas visam atuar como um auxílio na organização de práticas baseadas em evidências. A experiência demonstrou que, embora a modelagem formal ofereça um suporte estruturado em eixos cognitivos, afetivos e materiais, a realidade da sala de aula exige uma calibração contínua dos axiomas para refletir a diversidade dos perfis discentes e as particularidades locais. Reconhece-se que esta modelagem inicial limitou-se ao domínio de Computação e Educação *Maker*, não contemplando a totalidade das habilidades da BNCC de Computação em outras etapas de ensino.

Em consonância com os princípios da ciência aberta, a versão final da OntoBNCC em formato OWL, está disponível no repositório aberto Zenodo¹ para reúso e expansão pela comunidade de Informática na Educação. Para superar as limitações identificadas, trabalhos futuros devem priorizar a aplicação e testes da OntoBNCC em sistemas inteligentes pedagógicos reais, avaliando sua eficácia como infraestrutura de conhecimento operável. Outras investigações podem explorar sua integração com Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs) ou a expansão para outras áreas do conhecimento e etapas da Educação Básica.

9 Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Utilizou-se a ferramenta Gemini (Google) de Inteligência Artificial (IA) Generativa como assistente de redação e estruturação para aprimorar a clareza, coesão e adequação do texto ao formato exigido. A responsabilidade por todo o conteúdo, incluindo a extração, análise e interpretação dos dados, permanece integralmente dos autores.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) do Ministério da Educação (MEC) via Edital nº 88/2022, Doutorado Interinstitucional IFFar/UFPEL e ao Instituto Federal Farroupilha.

Referências

Almeida, M. B. (2020). *Ontologia em Ciência da Informação: Teoria e Método* (1ª ed., Vol. 1). CRV. [GS Search].

¹<https://doi.org/10.5281/zenodo.18939330>

- Ausubel, D. P. (2000). *The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-9454-7> [GS Search].
- Azevedo, A. C. B. (2019). *Micas, a web platform to support teachers of computing at school* [Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)] [GS Search].
- Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D. L., Nardi, D., & Patel-Schneider, P. F. (2003). *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications*. Cambridge University Press.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific American*, 284(5), 34–43. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0501-34> [GS Search].
- Blikstein, P. (2013). Digital fabrication and ‘making’ in education: The democratization of invention. *FabLabs: Of machines, makers and inventors*, 4(1), 1–21. <https://doi.org/10.14361/transcript.9783839423820.203> [GS Search].
- Brasil. (2017). Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Educação é a Base. Disponível em [link] [GS Search].
- Brasil. (2022). Ministério da Educação. Anexo ao Parecer do Conselho Nacional de Educação (CNE)/Câmara de Educação Básica (CEB) n. 2/2022. Normas sobre Computação na Educação Básica - Complemento à Base Nacional Comum Curricular. Disponível em [link] [GS Search].
- Dorneles, S. O., Barbosa, D. N. F., Francisco, R., & Barbosa, J. L. V. (2025). OntoUaffect: uma ontologia para estados afetivos baseada em contextos no ambiente educacional. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 33, 1–25. <https://doi.org/10.5753/rbie.2025.4585>. Disponível em [link]. [GS Search].
- European Commission. (2022). SELFIE Questionnaire - Discover the digital potential of your school. Disponível em [link] [GS Search].
- Ferraz, A. P. d. C. M., & Belhot, R. V. (2010). Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. *Gestão & Produção*, 17(2), 421–431. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2010000200015>. Disponível em [link]. [GS Search].
- Forrati, S. M., Ecar, M., Finger, A. F., & Silva, J. P. S. d. (2025). OntoObADi: Uma Ontologia para Repositório Web Semântico de Objetos de Aprendizagem Digitais. *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 603–616. <https://doi.org/10.5753/sbie.2025.12546>. Disponível em [link]. [GS Search].
- Garcez, A. V. (2022). *Pensamento Computacional como uma Aplicação em Dados Abertos Conectados* [Dissertação (Mestrado em Engenharia Informática)]. Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. Disponível em [link] [GS Search].
- Gruber, T. R. (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2), 199–220. <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>. Disponível em [link] [GS Search].
- Guizzardi, G. (2005). *Ontological foundations for structural conceptual models* (publicationN. 05-74) [PhD Thesis - Research UT, graduation UT]. University of Twente. Telematica Instituut / CTIT.
- Hatch, M. (2014). *The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers*. McGraw-Hill Education. Disponível em [link] [GS Search].

- Horn, M. B., & Staker, H. (2015). *Blended: Usando a Inovação Disruptiva para Aprimorar a Educação*. Penso. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Isotani, S., & Bittencourt, I. I. (2015). *Dados Abertos Conectados*. Novatec Editora. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Mendonça, F. M., & Felipe, E. R. (2020). Construção de ontologias: problemas, metodologias, editores e direcionamentos. Em M. B. Almeida (Ed.), *Representação do conhecimento, ontologias e linguagem: pesquisa aplicada em Ciência da Informação* (1ª ed., pp. 17–46, Vol. 1). CRV. <https://doi.org/10.24824/978655578644.6>. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Morris, J. D. (1993). Observations: SAM: the Self-Assessment Manikin; an efficient cross-cultural measurement of emotional response. *Journal of Advertising Research*, 35(6), 63–68. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Nascimento, K., Forrati, S., Stochero, A., Silva, S., Pernas, A., & Primo, T. (2025). Cultura Maker como meio de aprendizagens significativas no Ensino Fundamental Anos Finais. *Anais do XXXI Workshop de Informática na Escola*, 290–298. <https://doi.org/10.5753/wie.2025.13552>. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford Knowledge Systems Laboratory. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Oliveira, P. R. F. d. (2018). *Uma ontologia para classificação de objetos de aprendizagem considerando o domínio cognitivo da Taxonomia de Bloom* [Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)]. UERN/UFERSA, Mossoró. Orientador: Patrício de Alencar Silva. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Papert, S. (1993). *The Children's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer*. Basic Books. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Piaget, J. (1990). *A epistemologia genética*. Martins Fontes.
- Primo, T. T., & Vicari, R. M. (2012). User Profiles and Learning Objects as Ontology Individuals to Allow Reasoning and Interoperability in Recommender Systems. *Proceedings of the 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2012.6201139>. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Ribeiro, L., Cavalheiro, S., Foss, L., Cruz, M., & França, R. (2022). Proposta para Implantação do Ensino de Computação na Educação Básica no Brasil. *Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 278–288. <https://doi.org/10.5753/sbie.2022.225231>. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Silva, M. d. G. P. d. (2017). *Proposta de uma Ontologia para o gerenciamento de Objetos de Aprendizagem* [Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)]. Universidade Federal Rural do Semi-árido [Mossoró. Orientador: Rommel Wladimir de Lima. Coorientador: Patrício de Alencar Silva. <https://doi.org/10.21708/bdtd.ppgcc.dissertacao.829>. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#)].
- Simon, A. (2018). *Ontologias na Educação: uma proposta de aplicação em Sistemas de Recomendação* [Dissertação (Mestrado em Educação)]. Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul [Orientadora: Patricia Alejandra Behar. Disponível em [\[link\]](#) [\[GS Search\]](#)].