Tangram
Revista de Educação Matemática

DOI: 10.30612/tangram.v7i3.18016

Articulação entre Teoria Antropológico do Didático e abordagem instrumental: Aproximação Instrumental

Articulation between Anthropological Theory of Didactics and theory of instrumented activity: Instrumental Approach

Articulación entre Teoría Antropológica de la Didáctica y el enfoque instrumental: Aproximación Instrumental

Adrieli Cristine Bueno
Programa de Pós-Gradução em Educação Matemática (PRPGEM), Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR)
União da Vitória, Paraná, Brasil
adrielicbueno@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-5363-4099

Maria Ivete Basniak
Programa de Pós-Gradução em Educação Matemática (PRPGEM), Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR)
União da Vitória, Paraná, Brasil
maria.basniak@unespar.edu.br
https://orcid.org/0000-0001-5172-981X

Daysi Julissa García Cuéllar
Departamento de Ciencias sección Matemáticas, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)
San Miguel - Lima, Lima, Perú
garcia.daysi@pucp.pe
https://orcid.org/0000-0003-0243-6353

Resumo: Este artigo teórico tem por objetivo discutir como a emergência e a necessidade de uma base teórica que possa olhar para os fenômenos didáticos com a proliferação de objetos tecnológicos digitais para uso pedagógico deu origem à Aproximação Instrumental (AI), por meio da articulação entre elementos da Teoria Antropológica do Didático (TAD) e conceitos da abordagem instrumental. Com relação à TAD, são destacadas as praxeologias, compostas por (tipos de) tarefas, (tipos de) técnica, tecnologia e teoria. Também são discutidos conceitos como artefato, instrumento, gênese instrumental, instrumentação e instrumentalização que fazem parte da abordagem instrumental. Então, apresenta-se como surge a AI, evidenciando as técnicas instrumentadas e diferenças entre técnicas no papel e lápis e as usadas nos artefatos tecnológicos. Assim, com a AI, é possível compreender a integração de recursos tecnológicos no ambiente escolar e como esses objetos influenciam a aprendizagem dos alunos e o trabalho do professor.

Palavras-chave: Tecnologias na Educação Matemática. Praxeologia. Gênese Instrumental.

Abstract: This theoretical paper aims at discussing how the emergence and need for a theoretical basis that may look at didactic phenomena with proliferation of digital technological objects for pedagogical use gave rise to the Instrumental Approach (IA), through the articulation between elements of Anthropological Theory of Didactics (ATD) and concepts of theory of instrumented activity. Regarding ATD, praxeologies are highlighted, composed of (types of) tasks, (types of) technique, technology and theory. Concepts such as artifact, instrument, instrumental genesis, instrumentation and instrumentalization that are part of the theory of instrumented activity also are discussed. Then, it is presented how IA arises, highlighting instrumented techniques and differences between techniques on paper and pencil and those used in technological artifacts. Thus, IA allows us to understand the integration of technological resources in school environment and how these objects influence student learning and the teacher's work.

Keywords: Technology in Mathematics Education. Praxeology. Instrumental Genesis.

Resumen: Este artículo teórico tiene como objetivo discutir cómo el surgimiento y la necesidad de una base teórica que pueda observar los fenómenos didácticos con la proliferación de objetos tecnológicos digitales para uso pedagógico dieron origen al Aproximación Instrumental (AI), a través de la articulación entre elementos de la Teoría Antropología Didáctica (TAD) y conceptos del enfoque instrumental. Con relación a TAD, se destacan las praxeologías, compuestas por (tipos de) tareas, (tipos de) técnica, tecnología y teoría. También se discuten conceptos como artefacto, instrumento, génesis instrumental, instrumentación e instrumentalización que forman parte del enfoque instrumental. Luego, se presenta y discute la aparición de la AI, destacando las técnicas instrumentadas y las diferencias entre las técnicas de papel y lápiz y las utilizadas en artefactos tecnológicos. Así, con la AI es posible comprender la integración de los recursos tecnológicos en el medio escolar y cómo esos objetos influyen en el aprendizaje de los estudiantes y en el trabajo del profesor.

Palabras clave: Tecnologías en la Educación Matemática. Praxeología. Génesis Instrumental.

Recebido em
15/05/2024
Aceito em
05/08/2024

INTRODUÇÃO

Este artigo, de cunho teórico, tem por objetivo discutir uma base teórica que abarca fenômenos didáticos envolvendo o ensino de Matemática a partir da ampliação e uso de objetos tecnológicos digitais para fins pedagógicos, a Aproximação Instrumental (AI) (Artigue, 2007; Trouche, 2016). A AI teve origem por meio da articulação entre elementos da Teoria Antropológica do Didático (TAD) (Chevallard, 1992) e conceitos da abordagem instrumental (Rabardel, 1995a).

Para isso, elementos da TAD são apresentados de forma breve, como praxeologias, compostas por (tipos de) tarefas, (tipos de) técnica, tecnologia e teoria, seguidas de conceitos da abordagem instrumental: artefato, instrumento, gênese instrumental, instrumentação e instrumentalização. Por fim, descreve-se como surge a AI, evidenciando os valores das técnicas instrumentadas e diferenças entre técnicas no papel e lápis e técnicas usadas nos artefatos tecnológicos.

TEORIA ANTROPOLÓGICA DO DIDÁTICO

A fim de compreender a relação entre sujeito, instituição e saber, e tomando como base a Teoria da Transposição Didática e a Teoria das Situações Didáticas, Chevallard (1992, 1999) e colaboradores deram origem à Teoria Antropológica do Didático (TAD).

Conforme Chevallard (1999), dentro da TAD admite-se que toda e qualquer atividade humana pode ser descrita em termos de uma organização praxeológica ou praxeologia. Essa organização proposta permite modelar as práticas sociais, como a atividade matemática, e é composta por quatro noções: (tipos de) tarefas [T], (tipos de) técnica [τ], tecnologia [θ] e teoria [Θ] (Bosch & Chevallard, 1999).

Segundo Bosch e Chevallard (1999), o termo praxeologia é composto por *práxis* e *logos,* sendo a *práxis* referente à atividade, à prática realizada, ao saber-fazer, e envolve dois elementos: tipos de tarefas e técnicas que são usadas. O termo *logos*,

conforme os autores, é relacionado à parte descritiva, à justificativa e ao discurso racional, envolvendo tecnologia e teoria. A união desses dois termos e seus significados compõem uma praxeologia dentro da TAD (Bosch & Chevallard, 1999). Os autores descrevem que, para determinada tarefa, há um conjunto de técnicas, tecnologias e teorias que formam uma praxeologia.

Para certo tipo de tarefas, Chevallard (1999) denota a praxeologia como [T, τ, θ, Θ] e designa que nela há um bloco prático-técnico [T, τ] (tipo de tarefas e técnica) e um bloco tecnológico-teórico [θ, Θ] (tecnologia da técnica e teoria da tecnologia).

Qualquer prática institucional desenvolvida pode ser analisada como uma *tarefa* (Bosch & Chevallard, 1999). Nesse sentido, "[...] a noção de tarefa, ou melhor, de tipo de tarefas, supõe um objeto relativamente preciso" (Chevallard, 1999, p. 224).

Essas tarefas são referentes a qualquer atividade, como por exemplo: varrer a sala, derivar uma função, subir uma escada, dividir um inteiro por outro e assim por diante (Chevallard, 1999; Bosch & Chevallard, 1999).

Para que qualquer tarefa seja realizada, é necessária a implementação de ao menos uma técnica, como proposto por Bosch e Chevallard (1999).

As *técnicas* são maneiras de fazer, modos de realizar uma tarefa, as quais não precisam seguir um processo estruturado, metódico ou com algoritmo (Bosch & Chevallard, 1999; Chevallard, 1999), embora sejam empregados em alguns casos.

Quando surge um tipo de tarefa e não existe técnica apropriada, então há a necessidade de constituir uma técnica que possa ser usada para resolver a tarefa, que pode ser adaptada de uma técnica antiga ou criada (Bosch & Chevallard, 1999).

Para toda técnica, adaptada ou nova, é necessário que haja um discurso que justifique sua utilidade e validade (Pedreros, 2012), e isso nos conduz à noção de tecnologia da técnica dentro da TAD. Conforme Bosch e Chevallard (1999),

> Supõe-se que, para poder existir em uma instituição, uma técnica deve parecer algo compreensível, legível e justificado. [...] Esse constrangimento ecológico implica, então, a existência de um discurso descritivo e justificador das tarefas e técnicas, que chamamos de tecnologia da técnica (p. 85-86).

Nesse sentido, qualquer tarefa que seja resolvida por uma técnica é sempre acompanhada por ao menos um resquício de tecnologia (Chevallard, 1999). Para Chevallard, a *tecnologia* da técnica deve dar suporte teórico à técnica, explicá-la e torná-la inteligível, descrever e explicitar o motivo de ser assim, indicando fundamentos e justificativas. Portanto, entendemos por tecnologia um discurso racional (*logos*) sobre a técnica (*tekhnê*), que visa a justificá-la e a assegurar porque ela possibilita atingir os objetivos da tarefa (Chevallard, 1999).

Toda tecnologia da técnica precisa ser justificada (Bosch & Chevallard, 1999), porque contém afirmações que podem ser questionadas (Chevallard, 1999). A teoria é o que a justifica e, conforme Chevallard, está em um nível superior de justificação, explicação e produção.

Pedreros (2012) destaca a teoria como "[...] um 'discurso' matemático suficientemente amplo para justificar e interpretar a tecnologia da técnica (junto com muitas outras)" (p. 39, grifo da autora). Essas afirmações teóricas normalmente são abstratas (Chevallard, 1999), como teoremas, demonstrações ou definições, por exemplo, porque ajudam a produzir novas tecnologias (Santos & Freitas, 2013).

A praxeologia estabelece que, ao resolver uma tarefa, será necessária uma técnica, que é amparada por uma tecnologia que, por sua vez, é estruturada e justificada por uma teoria (Santos & Freitas, 2017). Logo, "[...] qualquer bloco de tarefa/técnica vem sempre acompanhada de algum vestígio de tecnologia" (Almouloud, 2007, p. 116), e toda atividade desenvolvida pode ser enunciada por meio de uma tarefa; também, toda tarefa necessita de uma técnica (Bittar, 2017).

Essa Teoria será retomada ao tratarmos da AI.

ABORDAGEM INSTRUMENTAL

No campo da Ergonomia Cognitiva[1], Rabardel (1995a, 2002), seguindo estudos

[1] A Abordagem Ergonômica "[...] é a adaptação do trabalho ao homem" (Rabardel (1995a, p. 36).

de Vygotsky e apoiando-se nos conceitos da psicologia, discute a relação entre homens e máquinas por meio de uma perspectiva antropocêntrica[2].

Dentro da abordagem instrumental, usando a definição de esquema proposta por Piaget e redefinida por Vergnaud (1990), Rabardel (1995a, 2002) distingue conceitos como artefato, instrumento, gênese instrumental, instrumentação e instrumentalização para estudar a ação do sujeito ao usar um artefato.

O conceito de esquema aparece em diferentes quadros teóricos, mas neste artigo ele é discutido tomando como base o que é proposto por Rabardel (1995a), que se apoia em Piaget e no que foi ampliado por Vergnaud (1990). Assim, apresentamos o que Rabardel discute de esquema de utilização (uso e ação instrumentada) e Artigue (2002) e Trouche (2003, 2005), em pesquisas mais recentes, propõem.

Segundo a teoria piagetiana, o esquema está presente na formação do conceito e é considerado uma ideia central (Rabardel, 1995a). Para Piaget (1936, como citado em Rabardel, 1995a), os esquemas são os meios que possibilitam ao sujeito assimilar os objetos e os contextos com os quais é confrontado. É por meio da assimilação reprodutiva que são constituídos os esquemas que, de fato, começam a existir, quando são esquematizados por meio de um esforço repetitivo (Rabardel, 1995a).

Vergnaud (1990, 1996), apoiando-se no conceito de esquema de Piaget, define esquema como “uma totalidade dinâmica que organiza a ação do sujeito para uma determinada classe de situações” (Vergnaud, 1990, p. 142). Além disso, conforme o autor, o conceito de esquema é composto e deve ser analisado por meio de quatro componentes: regra de ação, antecipações, invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) e inferências.

Rabardel (2002) ampara-se na noção de esquema proposta por Vergnaud (1990), como “[...] a organização imutável do comportamento do sujeito para uma classe de situações” (p. 61). Além disso, Rabardel (1995a, 2002) discute que os esquemas que

[2] Conforme Rabardel (1995a), na perspectiva antropocêntrica, o homem ocupa a posição central, diferentementeda perspectiva tecnocêntrica, em que o homem ocupa uma posição residual.

se relacionam com a utilização de um artefato são denominados *esquema de utilização,* e são definidos por dois níveis: de uso e de ação instrumentada.

Os esquemas de uso são relacionados às ações e atividades específicas, ligadas diretamente ao uso ou funcionamento do artefato (Rabardel, 1995a, 2002), por exemplo, usar a caixa de entrada do software GeoGebra para digitar e lei de formação de uma função (Bueno et al., 2023). Já os esquemas de ação instrumentada (mediada por instrumentos) são ligadas ao objeto e têm o objetivo de realizar transformações no objeto da atividade (Rabardel, 1995a, 2002). Se o objetivo de uma tarefa for construir um arquivo no GeoGebra, por exemplo, ao aprender e usar as ferramentas (ponto, controle deslizante, etc.) e os recursos disponíveis no sofwtare (caixa de entrada, janela de álgebra, etc.) para desenvolver o que foi proposto, o sujeito estará produzindo esquemas de ação instrumentada (Bueno et al., 2023).

Esses dois tipos de esquema, de uso e de ação instrumentada, são conectados, pois um esquema de ação instrumentada é constituído por um conjunto de esquemas de uso e de invariantes operatórios (Trouche, 2005).

Trouche (2003), ao considerar a relação – iniciada por Artigue (2002) – entre esquema da abordagem de Vergnaud à técnica da abordagem de Chevallard, sugere que “o estudo dos esquemas localiza o olhar sobre o *sujeito em ação*, o estudo das técnicas localiza o olhar sobre o *sujeito e sua relação com a instituição*, com as tarefas e ações que ela propõe” (p. 14, grifos do autor). Trouche (2003) alega que lhe parece vantajoso conceber as duas abordagens como complementares, pois “o estudo dos esquemas é uma *construção*, a partir da observação do sujeito e das *regularidades* de sua ação; o estudo das técnicas é um *estudo* das ações e da *lacuna* entre as ações *prescritas* e as ações *realizadas* no interior de uma organização praxeológica” (p. 15, grifos do autor)[3].

[3] Trouche (2005, p. 151) define “[...] uma ação como a parte observável de um esquema de uso”. Além disso, conforme o autor (2005), ao realizar uma ação, “[...] existe um esquema de utilização, com conhecimentos associados. Buscar esse conhecimento envolve considerar a ação não como um ato

Nesse contexto, para Trouche (2005), “um esquema é a construção de um observador a partir dos diferentes traços de atividade de um sujeito (ações, antecipações, inferências, etc.)”, e complementa que “descrever a atividade em termos de esquemas de ação instrumentados exige a consideração de invariantes operatórios” (p. 152). Nesse caso, Trouche (2005), apoiando-se em Vergnaud (1996), considera os invariantes operatórios como “[...] conhecimento implícito contido nos esquemas, que podem ser conceitos-em-ação, ou seja, conceitos considerados implicitamente relevantes; e teoremas-em- ação, [...] proposições consideradas verdadeiras” (p. 149) para o sujeito. Nesse sentido, os invariantes emergem durante a ação do sujeito no momento de resolver determinada tarefa, e não precisam ser verdadeiros, pois são as conjecturas ou ideias que o sujeito mobilizou para a situação.

Portanto, assim como Vergnaud, Trouche (2005) reconhece que o esquema é uma totalidade dinâmica e foca nos invariantes operatórios para olhar para os instrumentos que são formados pelos alunos.

Rabardel (1995a, 1995b, 2002) usa o termo *artefato* para definir um objeto, material ou abstrato, que é usado como meio de ação, destinado a dar sustento à atividade do sujeito para realizar determinada tarefa. Ele pode ser um objeto técnico, como um computador ou um software, ou pode ser um objeto abstrato/simbólico, como uma notação ou um algoritmo, por exemplo (Rabardel, 1995a, 2002).

Drijvers et al. (2010) chamam a atenção para o fato de que não é trivial a forma como o artefato é usado. Segundo os autores, quando o sujeito aprende a escrever à caneta, que antes era usada apenas para desenhar, passa a ser um artefato usado para escrever. Nesse sentido, a caneta e as habilidades em desenvolvimento do sujeito formam um instrumento para escrever, e “isso nos leva à construção psicológica do instrumento sendo mais do que um artefato” (Drijvers *et al*., 2010, p. 108).

Rabardel (1995a, 2002) propõe considerar o instrumento como uma entidade

isolado, mas integrado a um esquema de ação instrumentado empregado pelo aluno para resolver determinadas tarefas” (p. 151).

mista composta por um artefato (pode ser um artefato, uma parte dele ou um conjunto) e um ou vários esquemas de utilização. Nessa perspectiva, a definição de instrumento proposta pelo autor "[...] não associa apenas o artefato à ação do sujeito para a execução de uma tarefa, mas também os esquemas de utilização. O conjunto artefato e esquemas constituem o instrumento" (1995a, p. 11).

Rabardel (2002) também evidencia que o instrumento só é instituído para o sujeito como tal quando o sujeito lhe confere status de meio para atingir os objetivos de sua ação, ou seja, quando ele o incorpora na realização de suas atividades. Nesse contexto, há um instrumento quando "[...] existe uma relação significativa entre o artefato e o usuário para um tipo específico de tarefa" (Drijvers *et al*., 2010, p. 108).

Drijvers *et al*. (2010), tomando como base os estudos de Rabardel, propõem que o instrumento também envolve técnicas que o usuário desenvolve e aplica quando usa o referido artefato. Assim, estabelecem que "Instrumento = Artefato + Esquemas e Técnicas, para um determinado tipo de tarefa" (p. 108).

O processo complexo e dinâmico de um determinado artefato se tornar instrumento para o sujeito é denominado por Rabardel (1995a, 2002) como *gênese instrumental*, que é o conceito central da abordagem instrumental.

Bellemain e Trouche (2019), amparados em Rabardel, discutem que o termo *gênese*: "[...] não significa 'nascimento de uma entidade', mas 'desenvolvimento' dessa entidade. Os instrumentos são entidades vivas, que se desenvolvem durante a atividade dos alunos: este desenvolvimento passa por fases de estabilidade, e por fases de evolução" (p. 109, grifo dos autores). Logo, os instrumentos não são neutros (Rabardel, 1995), mas são aprimorados e adaptados de acordo com as necessidades de cada sujeito, com base em seu contexto, tarefa e conhecimentos matemáticos.

Conforme Trouche (2018b), "[...] na raiz de cada gênese instrumental existem dois 'protagonistas': um artefato e um sujeito" (p. 4, grifo do autor). Nesse sentido, Rabardel (1995a, 2002) aponta que a gênese instrumental é composta por duas dimensões intimamente interligadas: a instrumentalização (direcionado para o artefato) e a

instrumentação (direcionado ao sujeito).

Conforme Rabardel (1995a), a instrumentalização é relacionada "[...] ao surgimento e evolução dos componentes artefato do instrumento: seleção, reagrupamento, produção e instituição de funções, [...] transformação do artefato (estrutura, funcionamento, etc.) que prolongam as criações e realizações de artefatos" (p. 211). O autor também destaca que essa dimensão pode ser definida como aquela em que o sujeito enriquece as características do artefato.

Já a instrumentação, direcionada ao sujeito, refere-se "[...] ao surgimento e à evolução dos esquemas de utilização e de ação instrumentada: sua constituição, seu funcionamento, sua evolução por acomodação, coordenação, [...] e assimilação recíproca, assimilação de novos artefatos e esquemas já constituídos," entre outros (Rabardel, 1995a, p. 211). A instrumentação é relacionada a como as funcionalidades do artefato, sejam potencialidades ou restrições, moldam o sujeito (Trouche, 2005).

As duas dimensões que constituem a gênese instrumental, instrumentalização e instrumentação, são entrelaçadas e são realizadas pelo sujeito (Trouche, 2018b). Elas "se diferenciam pela orientação da atividade", na "instrumentação, a atividade está direcionada para o sujeito", e na "instrumentalização, a atividade é orientada para o componente artefato do instrumento" (Rabardel, 1995a, p. 12-13).

A seguir, apresentamos o nascimento e o desenvolvimento da AI.

APROXIMAÇÃO INSTRUMENTAL

Artigue (2007), em sua palestra na XII Conferência Interamericana de Educação Matemática, evidencia que "há mais de vinte anos, o primeiro estudo proposto pela Comissão Internacional para o Ensino de Matemática (ICMI) teve como tema a influência dos computadores na matemática e seu ensino" (p. 14), relacionando tecnologia e educação.

Com o passar dos anos, os conhecimentos avançaram, alguns objetos

tecnológicos digitais, como os computadores, foram aperfeiçoados, e outros foram criados, como os softwares. Entretanto, mesmo depois de anos, com pesquisas e discussões, segundo Artigue (2007), esses objetos provocam problemas para o sistema educacional, ainda que proporcionem novas maneiras de interação didática e social.

No início dos anos de 1990, quando Artigue trabalhou colaborando com um grupo de professores especialistas no uso de calculadoras e programas de computador para investigar e identificar o potencial desses objetos para o ensino e a aprendizagem da matemática dos alunos, percebeu descompassos entre o que era exposto, tanto pelos especialistas como na literatura, sobre o potencial dos programas de computador de cálculo e o que foi observado nas aulas (Artigue, 2007).

Nesse sentido, Artigue relata que foi necessário tomar consciência dessa diferença, além da subestimação das questões instrumentais. Assim, esses contrastes se tornaram questões de pesquisas, durante as quais as equipes de pesquisadores optaram por se distanciar do discurso habitual e dos quadros cognitivos usados até o momento (Artigue, 2007).

Considerando os obstáculos das pesquisas, uma das hipóteses levantadas pelos membros desses projetos refere-se à multiplicidade e fragmentação dos quadros teóricos usados para analisar o potencial das tecnologias para a aprendizagem matemática (Artigue, 2007).

Corroborando com essa ideia, Trouche (2016), referindo-se à proliferação de ferramentas tecnológicas no âmbito da educação (calculadoras gráficas), destaca o surgimento de novos fenômenos dentro de sala de aula. Assim, considerando a influência do seu uso, Trouche discute o potencial desses materiais para a Educação Matemática, ressaltando que novos referenciais teóricos eram necessários para analisá-los.

Nesse contexto, Artigue (2007) relata que se procurou articular quadros teóricos e abordagens para desenvolver um referencial que levasse em consideração também o

uso dessas tecnologias. Isso porque, enquanto pesquisadores, necessitavam de um discurso que "[...] permitisse considerar conceitos e técnicas em suas relações dialéticas, um discurso menos centrado no aluno, e que tratasse de questões de integração em sua dimensão sistemática", que permitisse "[...] considerar a dimensão instrumental no processo de aprendizagem" (Artigue, 2011, p. 18).

Conforme Trouche (2016), "em uma comunidade científica viva, uma nova aproximação raramente emerge da iniciativa de um único pesquisador: ela emerge para responder às necessidades práticas" (p. 245). Sendo assim, por meio da interação mútua entre pesquisadores como Artigue, Trouche, Guin, Lagrange e Defouad, por exemplo, as reflexões sobre as questões instrumentais começaram a se desenvolver e a amadurecer. Esse foi o início da AI, proposta principalmente por Artigue (2007, 2011), considerando os novos fenômenos didáticos (Artigue, 2002). Como os pesquisadores eram familiarizados com a Teoria Antropológica do Didático (TAD) de Chevallard (1992, 1999), e acostumados a colaborar com pesquisas no campo da Ergonomia Cognitiva (Rabardel, 1995a, 2002), surgiu a ideia da articulação entre as duas bases teóricas para formar um novo referencial, a AI (Artigue, 2007).

A TAD, sensível às normas e valores institucionais e como eles influenciam os processos de ensino e de aprendizagem, reconhecendo os conhecimentos matemáticos como objetos relativos a cada instituição, e dando atenção ao trabalho técnico, forneceu um arcabouço macroteórico (Artigue, 2002, 2007). Além disso, oferece ferramentas potentes e complementares que consideram a integração dialética entre a atividade matemática técnica e conceitual (Artigue, 2002).

Desse modo, Artigue (2007) destaca que a TAD foi considerada "[...] um quadro conceitual, capaz de enfrentar as necessidades teóricas que vivenciamos", pois prevê "[...] uma ampla análise sistêmica que vai além do aluno, sensível ao papel que as técnicas desempenham nas práticas humanas, ao desenvolvimento conceitual que delas emergem e às ferramentas dessas práticas" (p. 20).

A TAD, por ser uma teoria didática, foi desenvolvida para analisar a atividade

humana, especificamente a atividade de fazer matemática, e volta-se para as questões do processo de ensino e de aprendizagem, mas não foi ampliada para pensar na dimensão da instrumentação (Artigue, 2002, 2011).

Como era necessário um referencial que abordasse as questões instrumentais, os pesquisadores consideraram a abordagem instrumental (Trouche, 2016). Essa não é uma abordagem específica do âmbito da educação, pois considera os "[...] processos de aprendizagem profissional que ocorrem em ambientes tecnologicamente complexos" (Artigue, 2002, p. 250). Entretanto, foram desenvolvidas noções conceituais que podem ser adaptadas para outros contextos, como o educacional.

Assim, a abordagem instrumental forneceu elementos "[...] para estudar o papel que as tecnologias digitais desempenham nos processos de aprendizagem" (Artigue, 2007, p. 20), pois faz distinção entre artefato e instrumento, e dá atenção ao processo de gênese instrumental composto pelas duas dimensões: instrumentação e instrumentalização. Ademais, reconhece que ferramentas usadas nas atividades modelam os processos e os saberes, permitindo agir sobre o mundo (função pragmática), compreendê-lo (função epistêmica), e influencia a forma como são organizadas e desenvolvidas nossas ações (função heurística) (Artigue, 2007).

De acordo com Trouche (2016), com a atividade reorganizada para ser desenvolvida com o uso de instrumentos, novas condições e possibilidades de ação são oferecidas ao sujeito. Nesse contexto, conforme o autor,

> Parece bastante natural que a educação matemática tenha emprestado da ergonomia cognitiva formas de pensar processos de apropriação de artefatos. Esses conceitos basicamente distinguem, por um lado, o que foi dado ao sujeito (artefatos, situados historicamente e culturalmente); e por outro, o que foi construído pelo sujeito (os instrumentos) durante a finalização da atividade (Trouche, 2016, p. 246).

No decorrer da sua atividade, o sujeito desenvolve o longo e complexo processo da gênese instrumental, assim como procedimentos de forma eficiente para manipular o artefato, adquirindo conhecimentos (Trouche, 2016).

Sendo assim, a abordagem instrumental proposta por Rabardel "[...] pareceu

particularmente útil para entender tanto a ação desses artefatos sobre o comportamento dos alunos ([...] instrumentação) quanto as ações dos alunos sobre esses artefatos ([...] instrumentalização)" (Trouche, 2018a, p. 3).

Como destacado, a abordagem instrumental não se volta para os problemas existentes nos sistemas educacionais, e apenas ter validade científica e social não lhe garante validade didática (Artigue, 2002, 2007).

Portanto, Artigue (2007, p. 21) revela que "[...] a articulação dessas duas abordagens", TAD e abordagem instrumental, "pareceu potencialmente produtiva" para ser usada de forma a revelar o potencial da tecnologia digital para a aprendizagem de matemática. As primeiras pesquisas usando a perspectiva ergonômica e a antropológica contribuíram para avanços nas reflexões dos pesquisadores (Artigue, 2002). Por meio da realização desses trabalhos, emergiu a distinção sobre a equivalência entre o valor pragmático e epistêmico das técnicas, como discutimos adiante.

Técnicas instrumentadas e seus valores

Considerando as reflexões das pesquisas realizadas, visando a AI, as técnicas começaram a ser observadas e analisadas em termos de valor pragmático e epistêmico (Artigue, 2007). O valor pragmático é relacionado ao potencial produtivo como, por exemplo, eficiência, custo e campo de validade, com o objetivo de produzir resultados, permitindo transformar (Artigue, 2002, 2007; Trouche, 2003). O valor epistêmico refere-se à contribuição para a compreensão dos objetos envolvidos e mobilizados durante a realização da tarefa (Artigue, 2002, 2007; Trouche, 2003).

Conforme Trouche (2005), quando a técnica envolve ao menos um, ou vários artefatos, indica-se como técnica instrumentada, e refere-se à "[...] parte observável de um esquema de ação instrumentado" (p. 151). Nesse sentido, as técnicas que são instrumentadas por tecnologias são modificadas, e isso muda seu valor pragmático e epistêmico (Artigue, 2002).

Com a introdução das tecnologias digitais na sala de aula, perturbam-se os

equilíbrios tradicionais entre os dois valores das técnicas, que foram sendo estabelecidos progressivamente na cultura de papel e lápis (Artigue, 2007). Conforme a autora, para que esse desequilíbrio seja superado e seja assegurado o potencial epistêmico das técnicas instrumentadas, novas tarefas são necessárias. Ela também ressalta que não se trata de apenas adaptar tarefas que foram estabelecidas para serem resolvidas usando lápis e papel, porque ao fazer isso, reforça-se apenas a componente pragmática (Artigue, 2002).

Diferenças entre técnicas no papel e lápis e técnicas usadas nos artefatos tecnológicos

Quando um novo conteúdo matemático começa a ser explorado em sala de aula e são usados recursos como lápis e papel, geralmente algumas técnicas são apresentadas aos alunos pelo professor (Artigue, 2002). Com o passar do tempo e do treinamento dessas técnicas, elas acabam se tornando oficiais (Artigue, 2002).

No entanto, conforme Artigue (2002), quando um objeto tecnológico, como uma calculadora, pode ser usado para auxiliar a resolução de uma tarefa, há “[...] uma explosão de técnicas possíveis que podem ser usadas” (p. 260). A autora cita, como exemplo, o “[...] número de comandos de zoom diferentes oferecidos no aplicativo gráfico da calculadora, nos diferentes esquemas que podemos usar para obter o sinal de uma expressão, ou para verificar uma equivalência algébrica” (p. 260).

Artigue também explica a diferença entre usar recursos como lápis e papel ou usar uma calculadora. Por exemplo, ao inserir uma expressão na calculadora, o resultado é dado automaticamente ao sujeito, e a expressão final fornecida pelo objeto tecnológico digital é diferente do que foi digitado inicialmente (Artigue, 2002). Ao usar lápis e papel, exige-se um trabalho manual, em que o sujeito deve desenvolver um passo a passo e tem acesso às expressões intermediárias que produziu (Artigue, 2002).

Quando é usado algum objeto tecnológico digital na sala de aula, é favorecida a visualização e manipulação de diferentes representações do mesmo objeto

matemático. Diferentemente do "[...] que é usual no trabalho em sala de aula com papel e lápis, em que as formas representacionais são cuidadosamente escolhidas e as transformações entre elas são cuidadosamente codificadas" (Artigue, 2002, p. 265).

Assim, podemos observar que as técnicas usadas com lápis e papel são diferentes das técnicas instrumentadas pelas tecnologias digitais. Artigue chama a atenção para o fato de que ambos os tipos de técnicas requerem um discurso teórico de acompanhamento que justifique a técnica. Os discursos para as técnicas oficiais, de lápis e papel, são expostos em livros didáticos, por exemplo, e são mais conhecidos (Artigue, 2002). No entanto, "um discurso tem que ser construído para técnicas instrumentadas", e nesse caso, "[...] as dificuldades são óbvias, porque esse discurso vai evocar conhecimentos que vão além da cultura matemática padrão. Ele necessariamente entrelaçará o conhecimento matemático padrão e o conhecimento sobre o artefato" (Artigue, 2002, p. 261).

Nesse contexto, compreender o potencial das tecnologias digitais para ensinar matemática demanda profunda reflexão sobre o possível valor epistêmico das técnicas instrumentadas (Artigue, 2002). Esse valor depende das situações e contextos, tanto cognitivos como institucionais (Artigue, 2002). As tarefas que podem ser resolvidas usando tecnologias digitais devem ser planejadas visando ao uso e não ser apenas adaptações do que se produz via papel e lápis (Artigue, 2002).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do que foi apresentado e discutido neste artigo, compreendemos que a inserção das tecnologias digitais na sala de aula causou desequilíbrio no sistema educacional que, até o momento, usava recursos como lápis e papel. Nesse sentido, a AI surgiu da emergência e da necessidade para analisar os novos fenômenos didáticos que ocorrem no ambiente escolar com o uso de tecnologias digitais.

Disso, durante o processo da articulação entre a TAD e a abordagem instrumental, foram necessários esforços por parte dos pesquisadores para (re)pensar conceitos e

noções, como o de esquema e técnica, já estabelecidos pela literatura. Com relação aos esquemas, como aparecem em diferentes quadros teóricos de forma ampla e complexa, foi necessário centrar-se em elementos dessa noção que auxiliassem nas análises das situações que envolviam o uso de algum artefato. Já no caso das técnicas, com a possibilidade de desenvolvê-las usando as ferramentas oferecidas pelo artefato, na nova base teórica, elas passam a receber a denominação *técnicas instrumentadas*, para indicar que um artefato está sendo usado nesse processo.

Dessa forma, além da articulação entre a TAD e a abordagem instrumental permitir compreender melhor as questões de integrar os objetos tecnológicos digitais no ambiente escolar, ampliou, de alguma forma, conceitos e noções teóricas de objetos que influenciam a aprendizagem dos alunos e o trabalho do professor.

REFERÊNCIAS

Almouloud, S. A. (2007). *Fundamentos da didática da matemática*. Ed. UFPR.

Artigue, M. (2002). Learning Mathematics in a CAS environment: the Genesis of a reflection about Instrumention and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal for Computers in Mathematical Learning*, 7, 245-274.

Artigue, M. (2007). Tecnología y enseñanza de las matemáticas: desarrollo y aportaciones de la aproximación instrumental. In: *XII Conferência Inter-Americana de Educación Matemática*, 13-33.

Artigue, M. (2011). Tecnología y enseñanza de las matemáticas: desarrollo y aportaciones de la aproximación instrumental. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 6(8), 13-33.

Bueno, A., Basniak, M. I., & García Cuéllar, D. J. (2023). Escenario animado de Abejas en GeoGebra y la dialéctica esquema-técnica. *UNIÓN – Revista Iberoamericana de Educación Matemática, 19*(68), 1-21.

Bellemain, F., & Trouche, L. (2019). Compreender o trabalho do professor com os recursos de seu ensino, um questionamento didático e informático. *Caminhos da Educação Matemática em Revista/Online*, 9(1), 105-144.

Bittar, M. A (2017). Teoria Antropológica do Didático como ferramenta metodológica para análise de livros didáticos. *Zetetiké*, 25(3), 364-387. https://doi.org/10.20396/zet.v25i3.8648640

Bosch, M., & Chevallard, Y. (1999). La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. Objetd'étude et problématique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(1), 77-124.

Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique: perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12(1), 77-111.

Chevallard, Y. (1999). L'Analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques,* 19(2), 221-266.

Drijvers. P. *et al*. (2010). Integrating Technology into Mathematics Education: Theoretical Perspectives. In: C. Hoyles, & J. B. C. Lagrange (Ed.). *Mathematics Education and Technology-Rethinking the Terrain*, (pp. 89-133). Springer. http://dx.doi.org/10.1007%2F978-1-4419-0146-0_7

Pedreros, M. P. (2012). *Modelización de situaciones de movimiento en un sistema algebraico computacional: una aproximación desde la Teoría Antropológica de lo Didáctico y el Enfoque Instrumental*. [Dissertação de Mestrado em Educación Matemática]. Universidad del Valle Instituto de Educación y Pedagogía.

Rabardel, P. (1995a). *Los hombres y las tecnologías. Visión cognitiva de los instrumentos contemporáneos*. Universidad Industrial de Santander.

Rabardel, P. (1995b). Qu'est-ce qu'un instrument ? Appropriation, conceptualisation, mises ensituation. *Les dossiers de l'ingénierie éducative*, 19, 61-65.

Rabardel, P. (2002). *Pessoas e tecnologia*: *uma abordagem cognitiva dos instrumentos contemporâneos*. Université paris 8. hal-01020705.

Santos, C. M., & Freitas, J. L. M. (2013). As organizações praxeológicas no ensino de geometria: análise da prática pedagógica de uma professora indígena. *XI Encontro Nacional de Educação Matemática*.

Santos, C. M., & Freitas, J. L. M. (2017). Contribuições da teoria antropológica do didático na formação de professores de matemática. *Revista de Educação em Ciências e Matemática*, 13(27), 51-66. http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v13i27.4281

Trouche, L. (2003). *Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques:* nécessité des orchestrations. Université Paris VII. hal-00190091

Trouche, L. (2005). An instrumental approach to mathematics learning in symbolic

calculator environments. In: K. Guin, K. Ruthven, & L. Trouche (Eds.). *The didactical challengeof symbolic calculators:* Turning a computational device into a mathematical instrument. (pp. 137-162). Springer.

Trouche, L. (2016). Didactics of Mathematics: Concepts, Roots, Interactions and Dynamics from France. In: J. Monaghan, L. Trouche, & J. M. Borwein (Org). *Tools and Mathematics: Instruments for Learning*. (pp. 219-256). Springer. https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-02396-0_10

Trouche, L. (2018a). Instrumentalization in Mathematics Education. In: S. Lerman (Ed.),*Encyclopedia of Mathematics Education*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-319- 77487-9_100013-1

Trouche, L. (2018b). Instrumentation in Mathematics Education. In: S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of Mathematics Education*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-15789-0_80

Vergnaud, G. (1996). A trama dos Campos Conceituais na construção dos conhecimentos. *Revistado GEMPA,* 4(9-19).

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherche en Didactique des Mathématiques,* 10(23), 133-170.

Vergnaud, G. (2009). O que é aprender? In: M. Bittar, & C. A. Muniz (Orgs.). *A aprendizagem matemática na perspectiva da teoria dos campos conceituais*. (pp. 13-26). Editora CRV.