

**POSSÍVEIS REPRESENTAÇÕES SOCIAIS DE PROFESSORES
UNIVERSITÁRIOS SOBRE A AUTOMATIZAÇÃO DA RECOLHA DE DADOS NO
ENSINO EXPERIMENTAL: UM ESTUDO EM CURSOS DE MESTRADO EM
ENSINO DE PORTUGAL**

ADRIANA DE ANDRADE

Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH), Universidade Federal do ABC, Brasil
adriana.andrade@ufabc.edu.br | <https://orcid.org/0000-0002-1886-8313>

ISABEL MARIA COELHO DE OLIVEIRA MALAQUIAS

Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores (CIDTFF), Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, Portugal
imalaquias@ua.pt | <https://orcid.org/0000-0002-3179-0282>

CARLOS DAVIDE DA ROCHA AZEVEDO

Departamento de Física, Institute of Nanostructures, Nanomodelling and Nanofabrication (i3N), Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, Portugal
cdazevedo@ua.pt | <https://orcid.org/0000-0002-0012-9918>

MARCELO ZANOTELLO

Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH), Universidade Federal do ABC, Brasil
marcelo.zanotello@ufabc.edu.br | <https://orcid.org/0000-0003-2661-8637>

RESUMO

Este artigo investiga as representações sociais de professores portugueses sobre a automatização da recolha de dados no ensino experimental, no contexto de cursos de mestrado em Ensino da Física e da Química. A investigação, de natureza exploratória, fundamenta-se na Teoria das Representações Sociais (TRS) e na Teoria do Núcleo Central (TNC), recorrendo à Técnica de Associação Livre de Palavras (TALP) e às análises prototípica e de similitude, com apoio do software IRaMuTeQ. Os resultados sugerem um núcleo central estruturado por elementos como a autonomia, o rigor, a precisão e a literacia experimental, articulados com práticas pedagógicas mediadas pelas tecnologias digitais. A objetivação de tais conceitos concretiza-se em artefactos como sensores e gráficos, enquanto a ancoragem decorre da vinculação a experiências consolidadas. A automatização constitui-se, assim, como mediadora entre o rigor científico e a identidade profissional docente, conferindo sentido formativo às práticas experimentais.

PALAVRAS-CHAVE

representações sociais; ensino de física; automatização de dados; ensino experimental; iramuteq.



SISYPHUS

JOURNAL OF EDUCATION

VOLUME 14, ISSUE 03,

2026, PP 125-142

DOI: <https://doi.org/10.25749/sis.43794>

CC BY-NC 4.0

**POSSIBLE SOCIAL REPRESENTATIONS OF UNIVERSITY PROFESSORS ON
THE AUTOMATION OF DATA COLLECTION IN EXPERIMENTAL TEACHING:
A STUDY IN MASTER'S DEGREE COURSES IN TEACHING IN PORTUGAL**

ADRIANA DE ANDRADE

Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH), Universidade Federal do ABC, Brazil
adriana.andrade@ufabc.edu.br | <https://orcid.org/0000-0002-1886-8313>

ISABEL MARIA COELHO DE OLIVEIRA MALAQUIAS

Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores (CIDTFF), Departamento de
Física, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, Portugal
imalaquias@ua.pt | <https://orcid.org/0000-0002-3179-0282>

CARLOS DAVIDE DA ROCHA AZEVEDO

Departamento de Física, Institute of Nanostructures, Nanomodelling and Nanofabrication (i3N), Universidade
de Aveiro, Campus de Santiago, Portugal
cdazevedo@ua.pt | <https://orcid.org/0000-0002-0012-9918>

MARCELO ZANOTELLO

Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH), Universidade Federal do ABC, Brazil
marcelo.zanotello@ufabc.edu.br | <https://orcid.org/0000-0003-2661-8637>

ABSTRACT

This article investigates Portuguese teachers' social representations of data collection automation in experimental teaching within Physics and Chemistry teaching master's programs. This exploratory study is grounded in Social Representations Theory (SRT) and Central Nucleus Theory (CNT), utilizing the Word Association Test (WAT) along with prototypical and similitude analyses, supported by IRaMuTeQ software. The results evidence a central nucleus structured by elements such as autonomy, rigor, precision, and experimental literacy, articulated with pedagogical practices mediated by digital technologies. The objectification of these concepts materializes in artifacts such as sensors and graphs, while anchorage stems from connections to consolidated experiences. Automation thus serves as a mediator between scientific rigor and professional teaching identity, providing formative meaning to experimental practices.

KEY WORDS

social representations; physics education; data automation; experimental teaching; iramuteq.



SISYPHUS

JOURNAL OF EDUCATION

VOLUME 14, ISSUE 03,

2026, PP 125-142

DOI: <https://doi.org/10.25749/sis.43794>

CC BY-NC 4.0

**POSIBLES REPRESENTACIONES SOCIALES DE PROFESORES
UNIVERSITARIOS SOBRE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA RECOGIDA DE
DATOS EN LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL: UN ESTUDIO EN CURSOS DE
MÁSTER EN ENSEÑANZA EN PORTUGAL**

ADRIANA DE ANDRADE

Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH), Universidade Federal do ABC, Brasil
adriana.andrade@ufabc.edu.br | <https://orcid.org/0000-0002-1886-8313>

ISABEL MARIA COELHO DE OLIVEIRA MALAQUIAS

Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores (CIDTFF), Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, Portugal
imalaquias@ua.pt | <https://orcid.org/0000-0002-3179-0282>

CARLOS DAVIDE DA ROCHA AZEVEDO

Departamento de Física, Institute of Nanostructures, Nanomodelling and Nanofabrication (i3N), Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, Portugal
cdazevedo@ua.pt | <https://orcid.org/0000-0002-0012-9918>

MARCELO ZANOTELLO

Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH), Universidade Federal do ABC, Brasil
marcelo.zanotello@ufabc.edu.br | <https://orcid.org/0000-0003-2661-8637>

RESUMEN

Este artículo investiga las representaciones sociales de profesores portugueses sobre la automatización de la recogida de datos en la enseñanza experimental, en el contexto de los cursos de máster en Enseñanza de la Física y la Química. La investigación, de carácter exploratorio, se fundamenta en la Teoría de las Representaciones Sociales (TRS) y en la Teoría del Núcleo Central (TNC), recurriendo a la Técnica de Asociación Libre de Palabras (TALP) y a los análisis prototípico y de similitud, con el apoyo del software IRaMuTeQ. Los resultados sugieren un núcleo central estructurado por elementos como la autonomía, el rigor, la precisión y la alfabetización experimental, articulados con prácticas pedagógicas mediadas por las tecnologías digitales. La objetivación de estos conceptos se concreta en artefactos como sensores y gráficos, mientras que el anclaje deriva de la vinculación con experiencias consolidadas. La automatización se constituye, así, como mediadora entre el rigor científico y la identidad profesional docente, otorgando un sentido formativo a las prácticas experimentales.

PALABRAS CLAVE

representaciones sociales; enseñanza de la física; automatización de datos; enseñanza experimental; iramuteq.



SISYPHUS

JOURNAL OF EDUCATION

VOLUME 14, ISSUE 03,

2026, PP 125-142

DOI: <https://doi.org/10.25749/sis.43794>

CC BY-NC 4.0

Possíveis Representações Sociais de Professores Universitários sobre a Automatização da Recolha de Dados no Ensino Experimental: Um Estudo em Cursos de Mestrado em Ensino de Portugal

Adriana de Andrade¹, Isabel Maria Coelho de Oliveira Malaquias, Carlos Davide da Rocha Azevedo, Marcelo Zanotello

(...) as representações sociais são a forma de criação coletiva, em condições de modernidade, uma formulação implicando que, sob outras condições de vida social, a forma de criação coletiva pode também ser diferente.

Moscovici, 2007, p. 16

INTRODUÇÃO

Na epígrafe acima, Moscovici (2007, p. 16) convida a refletir sobre como as representações sociais, enquanto formas de elaboração coletiva da realidade, se constituem e se transformam em função das condições históricas e sociais em que emergem. Sob a ótica da Teoria das Representações Sociais (TRS), as representações orientam práticas, organizam sistemas de interpretação e participam da legitimação social do conhecimento. Neste âmbito, torna-se relevante compreender como futuros professores de Física e Química significam a automatização da recolha de dados no ensino experimental, considerando as especificidades formativas e institucionais associadas ao contexto investigado.

Nesse sentido, investigações desenvolvidas em distintos contextos educativos têm reforçado que a integração tecnológica na formação docente e no ensino experimental não se limita a uma dimensão instrumental, mas envolve processos de atribuição de sentido e de construção pedagógica. Na Espanha, Martín-Párraga et al. (2023) evidenciam que a competência digital docente constitui um eixo essencial da prática educativa contemporânea, exigindo formação contínua e atualização crítica para que os professores assumam novos métodos pedagógicos.

Em linha semelhante, Alegre-Buj e Cuetos-Revuelta (2021), ao analisar experiências na Argentina, demonstram que a incorporação de dispositivos como o Arduino favorece práticas mais motivadoras e enriquecidas por dados, ainda que dependentes de infraestrutura adequada e de formação docente específica. A relevância da automatização também é evidenciada em contextos africanos por Nannim et al. (2024), que apontam como projetos baseados em plataformas de prototipagem eletrônica contribuem significativamente para a inserção tecnológica de

¹ Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH), Universidade Federal do ABC (UFABC), Avenida dos Estados, 5001, Bairro Santa Terezinha, Santo André, SP, Brasil, CEP 09210-580.

futuros professores, reforçando que a tecnologia, quando bem integrada ao ensino experimental, atua como uma importante mediadora epistemológica.

Na Ásia, Xu et al. (2025) evidenciam que sistemas digitais de avaliação formativa podem ampliar a aprendizagem de habilidades complexas, desde que acompanhados de *feedback* docente. Já na Europa Central, Schmidt-Lauff (2023) sublinha que a integração tecnológica na formação docente deve ser entendida como mediadora da identidade profissional, articulando rigor científico, autonomia pedagógica e literacia tecnológica crítica.

A literatura internacional, portanto, demonstra que a integração tecnológica no ensino experimental não se limita a uma dimensão instrumental, mas envolve processos de atribuição de sentido que variam conforme culturas e práticas pedagógicas. Nesse aspeto, o presente estudo busca compreender como docentes universitários portugueses de Física e Química constroem significados sobre a automatização da recolha de dados.

Para este estudo, recorre-se à TRS, que permite interpretar os modos pelos quais elementos técnicos são convertidos em imagens partilhadas entre os docentes (objetivação) e como tais práticas são reinterpretadas no âmbito de saberes pedagógicos já consolidados (ancoragem). Enquanto extensão da TRS, a Teoria do Núcleo Central (TNC) desenvolvida por Abric (2001) acrescenta a distinção entre elementos consensuais e estáveis e aqueles mais flexíveis e contextuais, articulando-se com os procedimentos metodológicos adotados, como a análise prototípica e de similitude.

Diante do exposto, e dada a relevância da formação de professores para o ensino experimental em Portugal, este trabalho procura responder à seguinte questão: de que modo as representações sociais sobre a automatização da recolha de dados, construídas por professores universitários de Física e Química, orientam a significação das suas práticas no ensino experimental? A partir desta questão, o estudo tem como objetivo investigar como professores universitários em Portugal constroem significados sobre o uso de tecnologias digitais na prática experimental, com ênfase nas representações sociais que orientam o ensino de Física e Química.

TEORIA DAS REPRESENTAÇÕES SOCIAIS E TEORIA DO NÚCLEO CENTRAL

Do ponto de vista teórico-metodológico, foram adotados dois referenciais centrais. O primeiro é a Teoria das Representações Sociais (TRS), formulada por Serge Moscovici, reconhecida como a base da Psicologia Social do Conhecimento. Segundo Moscovici (2007, p. 71), “(...) toda representação torna real – realiza, no sentido próprio do termo – um nível diferente da realidade. Esses níveis são criados e mantidos pela coletividade e se esvaem com ela, não tendo existência por si mesmos; (...)”. Com base na TRS, os saberes partilhados socialmente sobre a automatização são construídos mediante processos de objetivação e ancoragem, sendo constantemente atualizados pelas interações.

Além disso, a compreensão do fenómeno ganha densidade ao considerar-se que a representação constitui um campo de tensões entre diferentes saberes e posições, mecanismo este fundamental para a emergência e consolidação de novas formas de pensar a prática docente. Jodelet (2001) esclarece que as representações sociais são formas de saber do senso comum que, ao circularem no ambiente educativo, orientam



a compreensão do mundo e os comportamentos individuais e coletivos. Como observa Schmidt-Lauff (2023), a representação da identidade e das experiências formativas envolve significantes que expressam diretamente os objetos materiais e sociais, o que reforça a dimensão concreta da objetivação no processo de integração tecnológica.

Assim, as representações sociais resultam de interações que atribuem significados aos objetos e estruturam valores, crenças e práticas que orientam a ação (Abric, 2001). No que diz respeito às tecnologias digitais, as representações permitem compreender como determinados artefatos, como sensores, *softwares* e metodologias de recolha de dados, são apropriados e integrados na prática docente. Investigações como a de Aparicio Gómez (2023) reforçam a necessidade de uma prática reflexiva, em que a automatização da recolha de dados atua como suporte à compreensão dos fenómenos científicos, mediando a relação entre dados experimentais e modelos teóricos.

Dentro dessa perspetiva, Moscovici (2007) destaca dois processos essenciais que sustentam a constituição e difusão das representações sociais: a ancoragem e a objetivação (Tabela 1).

Tabela 1
Ancoragem e Objetificação

Processo	Definição e Contextualização no Estudo
Ancoragem	Processo pelo qual um novo objeto ou conceito é interpretado e inserido em sistemas de pensamento já existentes, mediante comparação com elementos familiares. No âmbito deste estudo, manifesta-se quando os docentes vinculam as automatizações a referenciais pedagógicos consolidados ou a experiências anteriores no laboratório didático.
Objetivação	Diz respeito à transformação de ideias abstratas em imagens concretas e materializadas. É o momento em que os conceitos científicos e a recolha de dados passam a ser visualizados e operados com base em recursos tangíveis, tais como gráficos, tabelas, sensores ou interfaces digitais.

Fonte: Adaptado de Moscovici (2007).

O segundo referencial adotado é a Teoria do Núcleo Central (TNC), desenvolvida por Jean-Claude Abric (2001), que surge como complemento à TRS. Embora Moscovici (2007) tenha evidenciado que as representações sociais circulam e se organizam internamente, a TRS não detalhou suficientemente a sua estrutura. Assim, Abric (2001) aprofundou a organização interna das representações ao distinguir entre elementos centrais e periféricos, permitindo analisar não só o conteúdo, mas também a organização interna das representações. O núcleo central reúne os elementos estáveis, normativos e consensuais partilhados por um grupo, associados a memórias coletivas. Em contraste, o sistema periférico é formado por componentes mais flexíveis e suscetíveis a variações contextuais, permitindo a atualização das representações sem comprometer a sua estabilidade global (Abric, 2001).

Na abordagem estrutural, o núcleo central assume papel fundamental na solidez das conceções de um grupo, sendo sustentado por um conjunto de funções que explicam como determinados elementos se tornam estáveis e resistentes à mudança. Abric (2001) propõe funções específicas que regulam e protegem essa estrutura representacional, sintetizadas na Tabela 2 e na Tabela 3.

Tabela 2

Funções Estruturais e Estabilizadoras da Representação Social

Função	Descrição Operacional
Organização	Garante a estrutura interna da representação, sendo responsável por articular os demais elementos periféricos em torno do núcleo central, que atua como eixo conceitual.
Estabilidade	Confere coesão a representação social, tornando-o menos suscetível a pressões contextuais ou transformações sociais imediatas.
Significação	Oferece-se como a base semântica central que permite aos sujeitos interpretar, nomear e atribuir sentido ao objeto representado.
Defesa	Protege a representação de contradições externas, operando como um filtro ideológico que resguarda os conteúdos mais enraizados.

Fonte: Adaptado de Abric (2001).

Tabela 3

Funções Sociocognitivas das Representações Sociais

Função	Atuação no Campo Social e Profissional
Função Saber	Permite ao sujeito apropriar-se de um conhecimento partilhado, legitimando-a da realidade e integrando-o às normas do grupo.
Função Identidade	Situa o sujeito e o grupo no campo social, servindo como expressão das normas de pertença e atuando como dispositivo de socialização profissional.
Função Orientação	Direciona os comportamentos e tomadas de posição dos sujeitos, determinando as práticas esperadas em determinados contextos sociais.
Função Justificativa	Permite aos sujeitos racionalizar e explicar as suas ações e escolhas diante do grupo, sobretudo em momentos de tensão ou inovação prática.

Fonte: Adaptado de Abric (2001).

Abric (2001) esclarece que os elementos periféricos garantem flexibilidade e sustentam o núcleo central, permitindo a sua permanência em contextos diversos. Ademais, a Técnica de Associação Livre de Palavras (TALP) se estrutura como o recurso metodológico para mapear os elementos mais salientes e estáveis da representação social, permitindo identificar os componentes centrais e periféricos a partir de evocações espontâneas diante de estímulos indutores. Segundo Vergès (1992), a TALP possibilita desenhar hierarquias de significados com base na frequência e na ordem média de evocação das palavras, traduzindo fielmente os sentidos partilhados pelo grupo. A partir desse encadeamento, este estudo analisa as representações sociais de docentes portugueses sobre a automatização da recolha de dados, compreendendo as dinâmicas que articulam as tecnologias digitais, a experimentação e a identidade na formação de professores.



METODOLOGIA

A presente investigação constitui um recorte de um estudo doutoral mais abrangente em desenvolvimento na Universidade Federal do ABC (UFABC), no Brasil, com estágio de investigação na Universidade de Aveiro, no Departamento de Física, tendo sido aprovada pelo Comité de Ética em Pesquisa (Parecer n.º 5.669.899) e realizada em conformidade com o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), conforme o Parecer n.º 01-DFÍSICA/2025 da referida instituição.

Adotou-se uma abordagem metodológica de natureza exploratória, orientada para a identificação e a análise das representações sociais de docentes portugueses que atuam em cursos de Mestrado em Ensino de Física e Química (MEFQ)² acerca da automatização da recolha de dados no ensino experimental, visando explorar o fenómeno a partir da TRS (Severino, 2014). A amostra foi composta por 40 docentes, distribuídos por sete instituições de ensino superior portuguesas, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4
Quantitativo de respondentes

Instituição	Quantidade
Universidade de Aveiro	5
Universidade Beira Interior	4
Universidade de Coimbra	5
Universidade de Évora	4
Universidade de Lisboa	9
Universidade do Minho	6
Universidade do Porto	7
Total	40

A recolha de dados foi realizada entre agosto e setembro de 2025, mediante um inquérito *online* estruturado com base na Técnica de Associação Livre de Palavras (TALP), no qual se solicitou aos participantes a evocação espontânea de palavras ou expressões associadas ao termo indutor automatização da recolha de dados no ensino experimental.

O contacto com os participantes foi mediado pelos coordenadores dos respetivos cursos, aos quais foi solicitado o encaminhamento do *link* do inquérito aos docentes elegíveis, isto é, aqueles que lecionavam no ano letivo de 2025/2026 no Mestrado em Física e Química e ministravam aulas práticas experimentais no laboratório didático. O inquérito foi elaborado na plataforma LimeSurvey da Universidade de Aveiro, incluindo questões fechadas, destinadas à caracterização e identificação de práticas docentes, e questões abertas, que permitiram aprofundar o sentido atribuído pelos participantes às evocações realizadas e às perceções sobre a automatização da recolha de dados. A participação foi voluntária, sem recolha de dados pessoais ou sensíveis, assegurando

² Passaremos a usar o termo formação de professores de Física e Química, designação que corresponde ao Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3.º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário.

o anonimato dos respondentes e o cumprimento das normas éticas e legais previstas no RGPD.

Previamente às análises prototípica e de similitude, as evocações foram submetidas a um processo de lematização realizado manualmente, que consistiu na padronização de termos semanticamente equivalentes sob um único radical (por exemplo, “estudante” e “aluno”), de modo a evitar a dispersão semântica e assegurar a consistência das frequências de evocação, procedimento necessário para a análise com o *software* IRaMuTeQ³. Após esse tratamento, os dados foram processados no *software*, procedendo-se à análise prototípica e à Árvore Máxima de Similitude (AMS), com base nos princípios metodológicos da TRS.

O processamento dos dados no *software* IRaMuTeQ permitiu a realização da análise prototípica, cuja organização do *corpus* num quadro de quatro quadrantes foi balizada pelos princípios da Lei de Zipf⁴, que permitiu estabelecer, com rigor, o ponto de transição entre o vocabulário nuclear e as evocações de menor frequência, resultando na fixação da frequência média de 6.81 e da Ordem Média de Evocação (OME) de 2.65, possibilitando a identificação do núcleo central, elementos periféricos e a zona de contraste (Abric, 2001). Complementarmente, foi utilizada a AMS para visualizar as ligações semânticas entre os termos, recorrendo ao índice de Jaccard⁵ como medida de associação, que evidencia os laços conceptuais que sustentam a organização da representação através da construção de grafos, permitindo uma compreensão da hierarquia e da força das ligações entre os elementos evocados (Abric, 2001).

DISCUSSÃO E ANÁLISE

Na presente seção, são apresentados os resultados obtidos a partir das análises do corpus textual, articulando os dados empíricos com os referenciais teóricos fundamentados na TRS e na TNC, o que permite identificar as possíveis representações sociais do grupo de professores que atuam com aulas experimentais no mestrado em Física e Química, em instituições portuguesas. Os resultados são discutidos com base nas análises prototípica e de similitude, evidenciando os elementos centrais e periféricos que conformam a estrutura da representação social dos participantes.

Desse modo, apresenta-se a análise prototípica realizada com o auxílio do *software* IRaMuTeQ, cujos parâmetros estatísticos de frequência e ordem média de evocação (OME) são definidos com base no corpus tratado. A frequência média, calculada em 6.81, delimita os termos mais recorrentes, enquanto a OME inferior a 2.65 indica os termos evocados com maior saliência cognitiva.

A análise foi desenvolvida com base na TALP, segundo a proposta de Vergès (1992), que organiza os termos em quatro zonas: núcleo central, primeira periferia, elementos contrastantes e segunda periferia. A TALP permite identificar os sentidos atribuídos pelos participantes às suas práticas docentes, com destaque para o contexto da recolha

³ O *software* IRaMuTeQ (Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires), versão 0.7 alpha 2, é um programa livre e de código aberto (*open source*), desenvolvido por Pierre Ratinaud (2009). O sistema ancora-se no ambiente estatístico R e permite análises multidimensionais de textos e questionários.

⁴ A Lei de Zipf, no âmbito da linguística quantitativa, estabelece que a frequência de ocorrência de uma palavra num determinado *corpus* é inversamente proporcional à sua posição no *ranking* de frequências. Neste estudo, a sua aplicação permitiu determinar estatisticamente o ponto de corte para a análise prototípica, distinguindo os elementos de alta relevância semântica (núcleo e periferia) dos termos residuais (*hapax*).

⁵ O índice de Jaccard é um coeficiente de similaridade utilizado para medir a força da associação entre conjuntos de dados. Na Árvore de Similitude Máxima, este índice quantifica a probabilidade de coocorrência de dois termos num mesmo inquérito, permitindo identificar a estrutura de conectividade e a organização dos eixos semânticos que sustentam a representação social.



automatizada de dados, conforme ilustrado na Tabela 5. Importa referir que os termos apresentados foram extraídos de um corpus tratado no *software* IRaMuTeQ, sem acentuação gráfica, em conformidade com os parâmetros de análise lexical adoptados.

Tabela 5

Análise Prototípica – automatização da recolha de dados Grupo (N=40)

OME <= 2.65	OME > 2.65
Núcleo Central	Primeira Periferia
autonomia 25-1-1.85 rigor 20-1.76 precisão 12-2 literacia_experimental 8-1.86	reflexão 11-3.4 aprendizagem 11-3.9 sensor 8-3.67 modelação 7-3.33
Zona de Contraste	Segunda Periferia
eficiência 6-1.83 metodologia 4-2.25 estímulo 2-2 rapidez 2-1 qualidade 2-2	Computador 5-4 pesquisa 4-3 fiabilidade 3-5 programação 3-3 interação 3-5 planeamento 3-3 desafio 2-5 avaliação 2-3

Fonte: *Software* IRaMuTeQ.

A análise prototípica revela que o Núcleo Central é constituído pelos termos “autonomia”, “rigor”, “precisão” e “literacia experimental”. Segundo a TNC (Abric, 2001), estes elementos desempenham uma função normativa, organizando o significado da automatização em torno da identidade científica do docente, o que indica que a tecnologia é incorporada não como um fim em si mesma, mas como um suporte à competência profissional. Em contrapartida, os termos “reflexão”, “aprendizagem”, “sensor” e “modelação”, localizados na primeira periferia, atuam como suporte operativo, o que encontra ressonância em Alegre-Buj e Cuetos-Revuelta (2021), que observam como dispositivos como o Arduino favorecem práticas motivadoras, embora a sua eficácia dependa da infraestrutura. Os termos “sensor” e “modelação” são reconhecidos como recursos valiosos, mas a sua importância cognitiva é mediada pelos valores estruturantes do rigor e da autonomia que residem no núcleo central.

Relativamente, no Núcleo Central, os termos “autonomia”, “rigor” e “precisão” exercem a função normativa da representação, definindo os critérios de aceitabilidade da prática docente. A centralidade da “autonomia” pode ser interpretada como um indício de que a automatização da recolha de dados constitui um reforço da competência profissional, distanciando-se de uma perspectiva estritamente técnica. Nesse sentido, Martín-Párraga et al. (2023) apontam a competência digital como eixo essencial da prática educativa atual. Logo, para este grupo, a “literacia experimental” no núcleo consolida a ideia de que a autonomia científica depende do domínio das ferramentas tecnológicas.

No segundo quadrante situa-se a primeira periferia, composta por termos com elevada frequência, mas menor saliência cognitiva (maior OME), que funcionam como suporte operativo ao núcleo central. Os termos “reflexão”, “aprendizagem”, “sensor”

e “modelação” são mais flexíveis e permitem a adaptação da representação à realidade imediata dos docentes, funcionando como mediadores entre os valores do núcleo e a prática laboratorial.

A TRS, por sua vez, permite entender que a autonomia (presente no núcleo) é objetificada com suporte de instrumentos e estratégias de recolha de dados, tornando o “sensor” e a “modelação” símbolos da competência profissional. Nesta perspetiva, a periferia assume a função vital de proteger o núcleo estável, absorvendo dúvidas ou resistências individuais que surgem durante a implementação das tecnologias no ensino experimental.

No terceiro quadrante, a zona de contraste apresenta os termos “eficiência”, “metodologia”, “estímulo”, “rapidez” e “qualidade”, que parecem indiciar tensões e expectativas inerentes à prática pedagógica. Neste contexto, os termos evocados sugerem preocupações dos docentes quanto à eficácia das ações educativas, sobretudo no estágio crítico do mestrado, em que se exige uma intervenção fundamentada na realidade escolar. A partir desta perspetiva, Schmidt-Lauff (2023) sublinha que a integração tecnológica deve ser entendida como mediadora da identidade profissional, o que permite interpretar “eficiência” e “rapidez” como elementos ambivalentes: por um lado, podem ser vistos como ganhos objetivos de produtividade, mas, por outro, podem representar pressões que ameaçam deslocar o papel do professor de mediador pedagógico para técnico. Desse modo, a representação social da automatização revela-se ainda em processo de consolidação, não sendo inteiramente estável porque as tensões entre a otimização e o rigor metodológico no sistema periférico impedem a ancoragem definitiva dos elementos figurativos da automação no núcleo central. A persistência de dúvidas quanto à implementação de novos recursos na prática experimental sobrepõe-se à cristalização de um consenso identitário, corroborando as observações de Xu et al. (2025) sobre a integração de sistemas digitais.

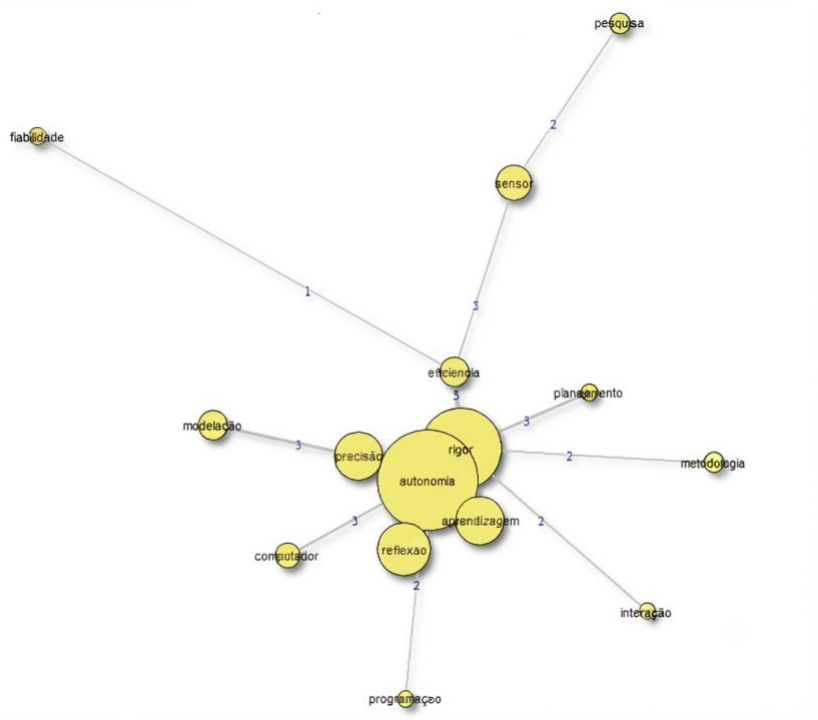
No quarto quadrante, a segunda periferia reúne termos que representam aspetos instrumentais e contextuais, como “computador”, “pesquisa”, “fiabilidade”, “programação”, “interação”, “planeamento”, “desafio” e “avaliação”. A função do sistema periférico aqui é mediar a autonomia docente e a realidade prática, transformando recursos como “computador” e “programação” em elementos figurativos da operacionalização do ensino. A busca pela “fiabilidade” constitui um desafio condicionado ao planeamento e às condições específicas de cada laboratório, permitindo a integração de adaptações individuais à estrutura da representação (Abric, 2001).

Na sequência, apresenta-se a AMS, que permite observar as conexões entre os elementos representacionais, revelando os encadeamentos semânticos que estruturam o campo discursivo dos participantes. Conforme Abric (2001), a espessura das arestas indica o grau de conexão entre os termos: quanto mais espessa, maior a similaridade; quanto mais fina, menor a relação entre os elementos agrupados. Na Figura 1, o grafo evidencia como os termos se articulam em torno do conceito de automatização da recolha de dados, formando redes de significados que sustentam a representação social construída pelos docentes.



Figura 1

Árvore Máxima de Similitude: termo indutor automatização da recolha de dados



Fonte: Grafo elaborado pelo software IRAMUTEQ.

Na Figura 1, apesar de o termo “eficiência” ter sido categorizado na zona de contraste na análise prototípica, o que inicialmente indicava uma tensão ou aspiração do grupo, na árvore de similitude revela o seu papel estruturante na dinâmica da representação, mostrando que a “eficiência” atua como um nó de transição essencial, ramificando-se diretamente a partir do “rigor” com uma força de coocorrência expressiva (peso 5), sugerindo que, na perspectiva destes docentes, a otimização dos processos automatizados não é um fim isolado, mas uma condição para garantir a precisão científica. De conformidade às proposições de Aparicio Gómez (2023), ao defender que a recolha automatizada de dados deve libertar o tempo pedagógico das tarefas puramente mecânicas, o autor sublinha que professores e estudantes podem dedicar-se à análise crítica, na interpretação dos gráficos e na compreensão profunda dos fenómenos físicos.

A estrutura do pensamento do grupo ramifica-se, a partir do nó da “eficiência”, em direções com estatutos de realidade distintos. A conexão com “sensor” e “investigação” (peso 2) confirma a automatização instrumental como o meio concreto de realização da eficiência, consolidando o uso de sensores como elementos figurativos da prática experimental. Em oposição, a ligação longa com a “fiabilidade” (peso 1) revela uma fragilidade estrutural condizente com a posição deste termo na segunda periferia.

A confiança na tecnologia não constitui um elemento estável na representação, operando como uma variável dependente do contexto e do planeamento individual no sistema periférico, sobretudo quando há instabilidade na apropriação tecnológica. Similarmente, Martín-Párraga et al. (2023) apontam barreiras pedagógicas e

organizacionais como fatores de sobrecarga ao planejamento docente, impedindo a consolidação de um núcleo representacional mais robusto.

A AMS projeta uma ramificação periférica entre “eficiência” e “fiabilidade” com o menor índice de coocorrência da estrutura (peso 1), corroborando a posição da “fiabilidade” na segunda periferia. O dado indica que a confiança na robustez técnica dos sistemas digitais não ocupa um lugar consolidado no pensamento do grupo, operando como uma dimensão frágil e dependente do contexto prático. No sistema periférico, a fiabilidade coexiste com as dúvidas técnicas dos docentes, revelando uma instabilidade instrumental que torna a formação decisiva para a integração tecnológica.

A autonomia, presente no núcleo da representação, supera o valor pedagógico abstrato para constituir-se como expressão de uma identidade profissional capaz de mediar criticamente as tecnologias. O processo reflete a ancoragem de novas práticas a referenciais já consolidados e a objetivação de conceitos tecnológicos em elementos concretos da prática educativa. Conforme destacam Martín-Párraga et al. (2023), a competência digital docente é o eixo que sustenta essa transição entre o valor abstrato e a operacionalização do ensino.

No cenário português, essa dinâmica alinha-se às tendências contemporâneas da formação de professores, que valorizam a integração das tecnologias digitais para a promoção do rigor e da literacia científica. A centralidade dos termos “autonomia” e “rigor” na análise de similitude revela níveis elevados de consciência pedagógica, conforme proposto pela TNC, o que evidencia significados socialmente partilhados e estabilidade conceptual face às práticas com automatizações. A articulação entre núcleo, periferia e contraste mostra que a objetivação dos conceitos técnicos (sensores, *software*, programação) ocorre sempre mediada por dimensões pedagógicas mais vastas, como a reflexão e a aprendizagem.

Ao comparar a AMS com a análise prototípica, observa-se uma convergência na centralidade dos valores normativos, embora as zonas periféricas revelem as ambiguidades e disputas simbólicas próprias da aceitação de novos recursos, observa-se o sistema periférico como proteção ao núcleo central, sobretudo na integração de experiências individuais e contradições contextuais sem desestabilizar o consenso grupal (Abriç, 2001), o que aponta para uma identidade docente estruturada em torno da investigação e da crítica.

Ademais, para compreender como essas representações se materializam na prática, apresentam-se, a seguir, alguns excertos das justificativas dos participantes, identificados pela sigla ID para garantir o anonimato. Analisados no âmbito da TRS, os discursos revelam que o uso de sensores e sistemas Arduino funciona como um processo de objetivação, uma vez que a tecnologia traduz conceitos físicos abstratos em elementos visuais e concretos, como gráficos e tabelas. Nota-se, na resposta do professor ID 17, este conhecimento mais acessível e palpável na prática experimental:

Com os futuros professores, trabalho o funcionamento dos aparatos tecnológicos através de explicitação inicial, seguida de exploração prática orientada, para que dominem tanto os aspetos técnicos como a lógica de recolha digital de dados. A análise é conduzida a partir de representações gráficas e da comparação com previsões teóricas, promovendo a interpretação crítica e a reflexão sobre o uso pedagógico destes recursos no ensino da Física. (ID 17)



Observamos no excerto, do ID 17, uma mediação pedagógica, que se apoia na primeira periferia da representação, onde a “reflexão” e a “aprendizagem” operam como suportes da ação, o que encontra sustentação em Alegre-Buj e Cuetos-Revuelta (2021), ao demonstrar que dispositivos como o Arduino, quando inseridos em ambientes de exploração orientada, convertem o caráter meramente instrumental da tecnologia em práticas motivadoras e reflexivas. Ademais, o ID 17 acrescenta que a análise é conduzida a partir de representações gráficas e da comparação com previsões teóricas, promovendo a interpretação crítica, o que valida a centralidade do “rigor” e da “precisão” no núcleo central, mostrando que a tecnologia é incorporada como um suporte à competência profissional, em perfeita consonância com o eixo essencial da prática educativa contemporânea defendido por Martín-Párraga et al. (2023). A continuidade entre a tradição experimental e a inovação tecnológica é reforçada pela resposta do professor ID 22:

Os estudantes participam ativamente na montagem do aparato, na programação do sistema de recolha e na análise crítica dos resultados obtidos. A automatização não substitui a intervenção, mas amplia a sua autonomia, promovendo competências técnicas e reflexivas durante o processo experimental. (ID 22)

No discurso do ID 22, a perspectiva de integração é reforçada pela participação ativa dos estudantes na montagem do aparato, na programação do sistema de recolha e na análise crítica dos resultados obtidos, evidenciando que a introdução de elementos técnicos da segunda periferia, como a “programação”, não ocorre de forma isolada, mas sim como um vetor de desenvolvimento do núcleo central, dado que, segundo o docente, a automatização não substitui a intervenção, mas amplia a sua autonomia, promovendo competências técnicas e reflexivas. De forma semelhante, Schmidt-Lauff (2023) menciona que a tecnologia deve atuar como mediadora da identidade e da emancipação profissional do professor, e não como uma mera automação instrumental que anula o seu papel pedagógico.

Assim, os recursos tecnológicos, como os sensores, os algoritmos e os gráficos, funcionam como mediadores simbólicos que concretizam ideias abstratas, configurando processos de objetivação tal como descritos pela TRS. A objetivação ocorre quando elementos como a recolha de dados passam a ser visualizados em dispositivos e representações concretas, como tabelas, simulações e ambientes computacionais, passando a fazer parte do imaginário pedagógico dos docentes. A ancoragem manifesta-se na ligação destas práticas a experiências consolidadas, como a resolução de problemas e a utilização de modelos teóricos. Neste sentido, Schmidt-Lauff (2023) refere que a comunicação constitui uma dimensão essencial no processo de ensino-aprendizagem, pois este deve ser caracterizado pela interação entre as partes envolvidas, sendo o professor o principal agente desta intervenção junto dos alunos.

A análise corrobora-se com evidências recentes em Portugal, onde Silva et al. (2024) demonstraram que os sensores desempenham múltiplos papéis na formação docente, funcionando como mediadores científicos, epistémicos e didáticos. Os autores salientaram também, que o uso de sensores e *softwares* de aquisição de dados deve estar associado ao desenvolvimento de competências epistemológicas e pedagógicas. Dando continuidade, apresenta-se a Tabela 6 com excertos sobre os tipos de experiências realizadas em aulas experimentais, e os recursos/aparatos tecnológicos utilizados para a recolha de dados.

Tabela 6

Excerto de respostas dos professores acerca da prática experimental

ID	Excerto do Professor
05	“Utilizei tablets com sensores integrados e o software Phyphox para recolha e análise de dados em experiências de física.”
06	“Tenho realizado experiências de cinemática e de corrente eléctrica, usando sensores de movimento e sensores de corrente ligados ao computador.”
07	“Tenho desenvolvido experiências de titulação ácido-base e de cinética química, recorrendo a sondas de pH e sensores de temperatura ligados a sistemas de recolha digital.”
09	“Realizo experiências de equilíbrio químico e de reações redox, utilizando sondas de pH, sensores de condutividade e software de aquisição de dados.”
13	“Ao longo do semestre a recolha de dados foi efetuada através da ligação de computadores a placas Arduino ou a sistemas DataLogger.”

A Tabela 6 reúne discursos sobre o uso instrumental de sensores de movimento, sondas de pH e interfaces como o Phyphox ou o Arduino (ID 05, ID 06, ID 07, ID 09 e ID 13). A incorporação simbólica de tais artefactos no quotidiano laboratorial atua como elemento figurativo, convertendo abstrações científicas, como movimento, corrente elétrica e condutividade, em dados experimentais dinâmicos. Trata-se de um processo de objetivação, sobretudo por tornar a tecnologia tangível, enquanto a ancoragem vincula os novos recursos digitais a práticas consolidadas de modelação e resolução de problemas. Alegre-Buj e Cuetos-Revuelta (2021) evidenciam que a recolha de dados em tempo real potencia abordagens investigativas, premissa que converge com a defesa de Martín-Párraga et al. (2023) de que a literacia digital docente se consolida na mobilização de recursos para estruturar cenários de aprendizagem situados.

Em relação aos estudos internacionais, as investigações na Argentina e em África, como as de Alegre-Buj e Cuetos-Revuelta (2021), Aparicio Gómez (2023) e Nannim et al. (2024), centram os debates na superação de barreiras infraestruturais ou no desenvolvimento de competências técnicas básicas. Noutra vertente, os cenários da Ásia, da Europa Central e de Espanha, cartografados por Xu et al. (2025), Schmidt-Lauff (2023) e Martín-Párraga et al. (2023), direcionam o foco para a necessidade de abordagens curriculares sistémicas, para a estruturação da identidade profissional e para a superação de desafios pedagógicos institucionais face à transformação digital. Quando contrastados com este panorama global, os Mestrados em Ensino em Portugal movem-se noutra dimensão, sobretudo no estudo de Silva et al. (2024), em que as limitações instrumentais elementares parecem ultrapassadas, o que permite à automatização da recolha de dados consolidar-se diretamente no núcleo central da representação dos professores que lecionavam no ano letivo de 2025/2026 no Mestrado em Física e Química no 3.º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário, e ministravam aulas práticas experimentais no laboratório didático. Para estes professores, a automatização da recolha de dados tende a ser legitimada como um recurso tecnológico mediador epistemológico essencial para potenciar o rigor, a precisão e a autonomia pedagógica em atividades práticas experimentais.

Em síntese, o cruzamento entre a estrutura prototípica, a AMS e os relatos analíticos dos docentes evidencia que a automatização da recolha de dados não se limita ao domínio técnico ou instrumental dos recursos digitais. Pelo contrário, configura uma prática pedagógica intencional, solidamente mediada pelos processos sociocognitivos de ancoragem e objetivação da TRS. As representações sociais identificadas revelam que os



artefatos tecnológicos são apropriados como instrumentos de significação e de orientação identitária, promovendo uma aprendizagem ativa e epistemologicamente comprometida no âmbito dos laboratórios didáticos de mestrado. Ao articular as dimensões normativas do núcleo central, representadas pela autonomia, rigor e precisão, com as práticas emergentes da periferia, os professores formadores evidenciam competência técnica aliada a uma consciência pedagógica refinada, em estrito alinhamento com a TNC. A automatização constitui-se, assim, como uma prática situada e reflexiva, cujas representações sociais orientam, justificam e conferem sentido à ação docente contemporânea.

CONCLUSÃO

Este estudo investigou as representações sociais de um grupo de docentes universitários portugueses sobre a automatização da recolha de dados no ensino experimental, no contexto da formação de professores de Física e Química. A partir de uma abordagem qualitativa, fundamentada na TRS e na TNC, foi possível compreender em que medida estas representações convergem ou se diferenciam das tendências identificadas na literatura internacional da área, contribuindo para ampliar a compreensão dos processos simbólicos associados às tecnologias digitais na formação de professores.

Os resultados revelam que a estrutura de representações sociais do grupo de professores é organizada pela autonomia, pelo rigor e pela literacia científica, em convergência com cenários observados na Argentina (Aparicio Gómez, 2023), Espanha (Alegre-Buj & Cuetos-Revuelta, 2021) e Portugal (Silva et al., 2024), nos quais o uso de tecnologias digitais em laboratório orienta práticas voltadas à investigação e à mediação pedagógica crítica.

A análise prototípica sinalizou que os docentes atribuem às automatizações um papel relevante na formação, objetivando conceitos abstratos em recursos tecnológicos e ancorando-os em referenciais pedagógicos e normativos. Articular representação e prática desvela, assim, um ciclo dinâmico: os significados sociais orientam as ações docentes que, em contrapartida, podem reforçar ou transformar essas mesmas representações.

O aprofundamento da análise, por meio do grafo de similitude, revelou que termos como “autonomia”, “rigor” e “precisão” ocupam posições centrais na estrutura das representações sociais dos docentes, configurando o núcleo central sobre a automatização da recolha de dados. A centralidade desses elementos evidencia níveis de consciência pedagógica e estabilidade conceitual, indo ao encontro dos pressupostos da TRS, no que tange à organização do conhecimento compartilhado, e da TNC, que identifica esses elementos como a base estável e consensual que configura o sentido figurativo da prática experimental. O alinhamento entre a estabilidade cognitiva e a natureza das práticas docentes desvela como os significados atribuídos às automatizações se consolidam em ações pedagógicas concretas.

O estudo evidencia que a integração das tecnologias digitais na prática pedagógica contribui para transformações na identidade profissional dos docentes, alinhando-os com um perfil inovador, investigativo e atento às exigências contemporâneas da educação científica, na qual a incorporação consciente das automatizações requer o domínio técnico indissociável de uma postura crítica e epistemologicamente situada, capaz de enfrentar resistências institucionais e culturais à inovação.

Do ponto de vista formativo, o estudo sugere que os cursos de mestrado em Ensino da Física e da Química devem promover práticas que articulem a automatização com a experimentação aberta, o diálogo científico e a reflexão metodológica. A formação de professores deve estimular a consciência sobre o papel das representações sociais, favorecendo a construção de práticas pedagógicas contextualizadas, autônomas e investigativas.

Do ponto de vista metodológico, o estudo contribui ao empregar ferramentas de análise textual como o IRaMuTeQ, que possibilitam uma leitura rigorosa e sistematizada dos discursos docentes. A estruturação das análises com o auxílio de quadros interpretativos confere densidade e relevância à abordagem adotada, ao integrar procedimentos como a análise prototípica e a análise de similitude, que asseguram maior consistência às interpretações no âmbito da TRS e da TNC, permitindo compreender de que modo os professores do Mestrado em Ensino de Física e Química constroem significados sobre o uso de tecnologias digitais na prática experimental, com ênfase nas representações sociais que orientam o ensino de Física e Química.

A delimitação do público a docentes de mestrados em Ensino de Física e de Química assegura a articulação dos discursos ao campo da formação de professores, circunscrevendo as representações sociais à prática pedagógica e à epistemologia do ensino experimental, em distinção a perspectivas puramente técnicas ou não formativas.

Por fim, o trabalho aponta caminhos para futuras investigações, como o aprofundamento das resistências à inovação, o acompanhamento longitudinal das transformações identitárias docentes e o alargamento da diversidade de perfis investigados. A compreensão das representações sociais sobre a automatização da prática experimental revela-se, assim, como uma chave interpretativa para pensar a formação de professores em diálogo com os desafios contemporâneos da educação científica, podendo vir a transformar-se ao longo do tempo, conforme novas experiências e políticas educacionais surjam.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORES

Concetalização: A. A. e C. D. R. A.; Metodologia: A. A. e C. D. R. A.; Software: A. A.; Análise formal: A. A.; Investigação: A. A. e I. M. C. O. M.; Redação do rascunho original: A. A.; Redação – revisão e edição: A. A., C. D. R. A., M. Z. e I. M. C. O. M.; Supervisão: M. Z.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da investigação, no âmbito do processo n.º 2024/21784-4.

REFERÊNCIAS

Abrieu, J.-C. (2001). *Méthodologie de recueil des représentations sociales*. Presses Universitaires de France.



- Alegre-Buj, M. S., & Cuetos-Revuelta, M. J. (2021). Sensores y equipos de captación automática de datos en los trabajos prácticos de Física y Química de Secundaria y Bachillerato: el uso de Arduino. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1202. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1202
- Aparicio Gómez, W. O. (2023). La inteligencia artificial y su incidencia en la educación: Transformando el aprendizaje para el siglo XXI. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa (RIPIE)*, 3(2), 217-230. <https://doi.org/10.51660/ripie.v3i2.133>
- Jodelet, D. (2001). *As representações sociais*. EDUERJ.
- Martín-Párraga, L., Llorente-Cejudo, C., & Barroso-Osuna, J. (2023). La competencia digital docente: Estudio documental mediante la cartografía conceptual. *Bordón*, 75(4), 53-74. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2023.96306>
- Moscovici, S. (2007). *Representações sociais: Investigações em psicologia social*. Vozes.
- Nannim, F., Rahman, M., Yusuf, A., & Karim, S. (2024). Effect of project-based Arduino robot application on trainee teachers' computational thinking. *Education and Information Technologies*, 29(3), 2501-2520. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-023-12380-6>
- Ratinaud, P. (2009). *IRaMuTeQ: Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*. Université de Toulouse.
- Schmidt-Lauff, S. (2023). Biographical temporalisation(s) in adult education. *Sisyphus – Journal of Education*, 11(1), 128-146. <https://doi.org/10.25749/sis.27736>
- Severino, A. J. (2014). *Metodologia do trabalho científico*. Cortez.
- Silva, M. J., Rodrigues, M., & Tempera, T. (2024). Framework for a research-based and interdisciplinary use of sensors in elementary teacher education. *Sensors*, 24(17), 5482. <https://doi.org/10.3390/s24175482>
- Vergès, P. (1992). L'évocation de l'argente: Une méthode pour la définition du noyau central d'une représentation. *Bulletin de Psychologie*, 45(405), 203-209.
- Xu, H., Deng, T., Xu, X., Gu, X., Huang, L., Xie, H., & Wang, M. (2025). Integrating 4C/ID model into computer-supported formative assessment system. *Education and Information Technologies*, 30(12), 5921-5964. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13037-8>

*

Received: October 23, 2025

Resubmit for Review: January 8, 2026

Revisions Required: April 24, 2026

Minor Revisions Required: June 23, 2026

Accepted: July 13, 2026

Published online: October 30, 2026

