



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

**CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**CAMILA DO CARMO PEREIRA**

**ARDUINO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE BIOLOGIA: UMA  
PROPOSTA PARA O ESTUDO DA REPRODUÇÃO SEXUADA DOS ESCORPIÕES**

**RECIFE**

**2026**

CAMILA DO CARMO PEREIRA

**ARDUINO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE BIOLOGIA: UMA  
PROPOSTA PARA O ESTUDO DA REPRODUÇÃO SEXUADA DOS ESCORPIÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas,  
da Universidade Federal Rural de Pernambuco -  
UFRPE, como requisito para a obtenção do  
título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Janaína de Albuquerque  
Couto.

Coorientador: André Felipe de Araújo Lira

**RECIFE**

**2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

P436a Pereira, Camila do Carmo.  
Arduino como recurso didático no ensino de biologia: uma proposta para o estudo da reprodução sexuada dos escorpiões / Camila do Carmo Pereira. – Recife, 2026.  
64 f.; il.

Orientador(a): Janaína de Albuquerque Couto.  
Co-orientador(a): André Felipe de Araújo Lira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Ciências Biológicas, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

1. arduino. 2. Ciências - Estudo e ensino . 3. Reprodução sexuada. 4. Escorpiões I. Couto, Janaína de Albuquerque, orient. II. Lira, André Felipe de Araújo, coorient. III. Título

CDD 574

**CAMILA DO CARMO PEREIRA**

**ARDUINO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE BIOLOGIA: UMA  
PROPOSTA PARA O ESTUDO DA REPRODUÇÃO SEXUADA DOS ESCORPIÕES**

**BANCA EXAMINADORA**

**PROF<sup>a</sup>. DRA. JANAÍNA DE ALBUQUERQUE COUTO, UFRPE**

Orientadora

**PROF. DR. ANDRÉ FELIPE DE ARAÚJO LIRA, UFRPE**

Co-orientador

**PROF. DR. ALCEU DOMINGUES ALVES, UFRPE**

Membro Titular interno

**PROF. MSC. WOLDNEY DAMIÃO SILVA ANDRÉ, SEDUC PE**

Membro Titular externo

**RECIFE**

**2026**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, dirijo meus agradecimentos a Deus, pela sua graça sendo a base para a realizar os meus sonhos, especialmente o de me tornar professora, uma vocação que sempre almejei exercer com amor e dedicação.

Agradeço, profundamente, aos meus pais, Iltamar e Cilene. Nascidos em Camaragibe, superaram dificuldades financeiras desde a infância, mas sempre garantiram que nada faltasse a seus dois filhos: a mim, autora deste trabalho, e ao meu irmão, José Guilherme. Proveram-nos uma educação digna, um legado de valor inestimável. Meu pai, que não pôde terminar o ensino fundamental, dedicou-se por anos como encanador, zelador e pedreiro, sendo um constante apoio e incentivado para que minha mãe concluísse seus estudos. A ela, minha querida mãe, expresso toda a minha gratidão por seu apoio incondicional e por sua própria conquista ao terminar o ensino médio, um marco que transformou as condições de nossa família.

Com carinho e saudade, registro o papel essencial da minha avó materna, já falecida, em minha formação, desde os fundamentos da vida até a conclusão da universidade. Mesmo sem ter tido a oportunidade de concluir os estudos formais, pois dedicou sua juventude à família, casando-se cedo e trabalhando incansavelmente pelo bem-estar dos filhos, ela esteve sempre ao meu lado, oferecendo-me seu amor e sabedoria. Tenho a certeza de que, de onde está, continua a nos abençoar.

Deixo também registrada minha profunda gratidão à minha madrinha, uma verdadeira terceira mãe, cujo cuidado e dedicação foram uma constante em minha vida. Obrigada por sempre zelar, proteger e dedicar tanto amor à sua afilhada.

Na esfera acadêmica, minha gratidão se estende a todos os meus orientadores e professores, que são e foram verdadeiros pilares da minha trajetória, cujos ensinamentos levarei para sempre comigo. Agradeço especialmente ao professor Gelson Nunes, coordenador de laboratório da Prefeitura do Recife, sob orientação tive a honra de atuar como estagiária. Durante minha participação no PIBID, encontrei guias excepcionais nos professores Everaldo Nunes, Betânia Guilherme e Danielle Araújo, a quem sou profundamente grata pela orientação e inspiração que me ofereceram.

Tenho uma dívida de gratidão singular com minha querida orientadora, Janaína Couto, cujo apoio incondicional desde nosso primeiro encontro foi decisivo para este percurso. Sua excelência como profissional e educadora, da qual tive a sorte de ser aluna, foi um verdadeiro farol para minha formação docente. Agradeço igualmente ao meu orientador deste trabalho, André Lira, responsável pelo grupo Aracno-PE, que me acolheu no início da graduação e despertou em mim a paixão pelo estudo dos aracnídeos. A dedicação conjunta dele e da professora Janaína foi fundamental para a concretização deste trabalho.

Por fim, mas com igual importância, agradeço aos meus amigos, que se tornaram como irmãos ao longo desta longa jornada universitária. Menciono, com afeto, Clarissa Gusmão, Pedro Henrique, Andrelly Bessony, Matheus Manoel, Igor Henrique e Maria Eduarda.

Um agradecimento especial aos companheiros do Aracno-PE, Thayna Brito, Nathália Maria, Matheus Leonydas, Hugo Rodrigo e André Júnior, com quem compartilhei não apenas a amizade, mas também a paixão pela pesquisa. Aos demais que, de alguma forma, foram importantes, meu reconhecimento, o apoio de cada um constituiu um alicerce indispensável.

## RESUMO

Este trabalho desenvolveu e avaliou um protótipo didático interativo baseado na plataforma Arduino para o ensino da reprodução sexuada dos escorpiões, visando superar as limitações do modelo tradicional que aborda processos biológicos complexos de forma estática e da memória. A pesquisa, de natureza aplicada e qualitativa, percorreu três etapas principais: uma revisão sistemática da literatura (2015–2025) que identificou uma lacuna na produção de recursos tecnopedagógicos para o tema; o desenvolvimento de um modelo físico que simula, com 8 patas, 4 mecânicas e 4 imoveis e programação sequencial, o ritual de acasalamento dos escorpiões; e uma análise técnico-pedagógica que atestou a viabilidade, usabilidade e o elevado potencial do artefato para mediar a aprendizagem ativa. Os resultados demonstram que o Arduino atua como um potente mediador pedagógico, capaz de materializar conceitos abstratos, promover o engajamento ativo dos discentes e integrar conhecimentos da zoologia, tecnologia e pensamento computacional, oferecendo assim um recurso validado, de baixo custo e replicável para uma educação científica mais dinâmica e contextualizada.

**Palavras-chave:** arduino, ensino de ciências, reprodução sexuada, escorpiões

## **ABSTRACT**

This study developed and evaluated an interactive didactic prototype based on the Arduino platform for teaching the sexual reproduction of scorpions, aiming to overcome the limitations of the traditional model that addresses complex biological processes through static and memorization-based approaches. The research, of an applied and qualitative nature, followed three main stages: a systematic literature review (2015–2025) that identified a gap in the production of techno-pedagogical resources on the subject; the development of a physical model that simulates, with 8 legs (4 mobile and 4 fixed) and sequential programming, the scorpion mating ritual; and a technical-pedagogical analysis that attested to the feasibility, usability, and high potential of the artifact to mediate meaningful learning. The results demonstrate that Arduino acts as a powerful pedagogical mediator, capable of materializing abstract concepts, promoting active student engagement, and integrating knowledge from zoology, technology, and computational thinking, thus offering a validated, low-cost, and replicable resource for a more dynamic and contextualized science education.

**KEYWORDS:** arduino, science teaching, sexual reproduction, scorpions.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

**ABP** – Aprendizagem Baseada em Problemas

**ABPj** – Aprendizagem Baseada em Projetos

**CAPES** – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

**CNS** – Conselho Nacional de Saúde

**CONEDU** – Congresso Nacional de Educação

**ENPEC** – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências

**GND** – Terra (*Ground*)

**PIBID** – Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência

**PWM** – Modulação por Largura de Pulso (*Pulse Width Modulation*)

**RIL** – Revisão Integrativa da Literatura

**RSL** – Revisão Sistemática da Literatura

**STEM** – Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*)

**TDIC** – Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação

**TPACK** – Conhecimento Pedagógico Tecnológico de Conteúdo (*Technological Pedagogical Content Knowledge*)

**UFRPE** – Universidade Federal Rural de Pernambuco

**USB** – *Universal Serial Bus* (Barramento Serial Universal)

**ZDP** – Zona de Desenvolvimento Proximal

## SUMÁRIO

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                                                                      | <b>12</b> |
| <b>2. JUSTIFICATIVA</b>                                                                   | <b>14</b> |
| <b>3. OBJETIVOS</b>                                                                       | <b>15</b> |
| <b>4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                                                           | <b>16</b> |
| 4.1. ENSINO TRADICIONAL E SUAS LIMITAÇÕES                                                 | 16        |
| 4.2. APRENDIZAGEM ATIVA E MEDIAÇÕES PEDAGÓGICAS                                           | 17        |
| 4.3. TECNOLOGIAS DIGITAIS NA EDUCAÇÃO E AS METODOLOGIAS ATIVAS                            | 19        |
| 4.4. O ARDUINO COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA MATERIALIZAR A APRENDIZAGEM ATIVA          | 21        |
| 4.5. ESCORPIÕES: UM CASO EMBLEMÁTICO PARA O ENSINO DE PROCESSOS BIOLÓGICOS COMPLEXOS      | 23        |
| 4.6. MODELOS INTERATIVOS, VISUALIZAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE PROCESSOS BIOLÓGICOS | 25        |
| <b>5. METODOLOGIA</b>                                                                     | <b>27</b> |
| 5.1 ABORDAGENS DA PESQUISA                                                                | 27        |
| 5.2 ETAPAS GERAIS DA PESQUISA                                                             | 28        |
| 5.3 REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA (RIL)                                               | 28        |
| 5.3.1 OBJETIVO E CARACTERIZAÇÃO DA REVISÃO                                                | 28        |
| 5.3.2 PROTOCOLO DA REVISÃO                                                                | 29        |
| 5.4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DIDÁTICO                                                 | 30        |
| 5.4.1 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E MODELAGEM BIOLÓGICA                                         | 30        |
| 5.4.2 PROTOTIPAGEM FÍSICA E ADAPTAÇÕES MORFOLÓGICAS                                       | 31        |
| 5.4.3 CICLOS DE TESTES E DEPURAÇÃO                                                        | 31        |
| 5.5 ANÁLISE TÉCNICO-PEDAGÓGICA DO PROTÓTIPO                                               | 31        |
| 5.5.1 AUTOAVALIAÇÃO E REFLEXÃO PEDAGÓGICA                                                 | 31        |
| 5.5.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE                                                                | 32        |
| 5.6 MATERIAIS E RECURSOS UTILIZADOS                                                       | 32        |
| 5.6.1 COMPONENTES ELETRÔNICOS E DE CONTROLO                                               | 32        |
| 5.6.2 ESTRUTURA FÍSICA E MODELAGEM 3D                                                     | 33        |
| 5.6.3 INFRAESTRUTURA DE APOIO                                                             | 33        |
| 5.7 AVALIAÇÃO DA PROPOSTA                                                                 | 33        |
| 5.7.1 DOCUMENTAÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO                                         | 34        |
| 5.7.2 ANÁLISE DE DESAFIOS E SOLUÇÕES                                                      | 34        |
| 5.7.3 POTENCIALIDADES E SEQUÊNCIA DIDÁTICA SUGERIDA                                       | 34        |
| 5.7.4 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS                                                                | 34        |
| <b>6. RESULTADOS</b>                                                                      | <b>35</b> |
| 6.1 PANORAMA DA REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA (RIL)                                   | 35        |
| 6.2 ORGANIZAÇÃO DO CIRCUITO E MAPEAMENTO DOS COMPONENTES                                  | 37        |
| 6.2.1 CONFIGURAÇÃO DO HARDWARE E MONTAGEM ELETRÔNICA                                      | 37        |
| 6.2.2 ORGANIZAÇÃO DO CIRCUITO E MAPEAMENTO MATRICIAL                                      | 39        |
|                                                                                           | 10        |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.2.3 ADAPTAÇÕES MORFOLÓGICAS: DA ARANHA AO ESCORPIÃO                     | 41        |
| 6.2.4 LÓGICA DE FUNCIONAMENTO E COMPORTAMENTO SIMULADO                    | 42        |
| 6.3 PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA                                        | 50        |
| 6.3.1 ETAPA I: PROBLEMATIZAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO                         | 50        |
| 6.3.2 ETAPA II: DEMONSTRAÇÃO E INTERAÇÃO COM O PROTÓTIPO                  | 51        |
| 6.3.3 ETAPA III: SISTEMATIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO                     | 51        |
| <b>7. DISCUSSÃO</b>                                                       | <b>52</b> |
| 7.1 O PROCESSO DE PROTOTIPAGEM SOB A ÓTICA CONECTIVISTA E DA CIBERCULTURA | 52        |
| 7.2. O PLANEJAMENTO ENERGÉTICO COMO ELEMENTO PEDAGÓGICO                   | 53        |
| 7.3. A TRADUÇÃO ALGORÍTMICA DO COMPORTAMENTO BIOLÓGICO                    | 53        |
| 7.4. SUSTENTABILIDADE, ACESSIBILIDADE E A PEDAGOGIA DO ERRO               | 54        |
| 7.5. INTERDISCIPLINARIDADE E PENSAMENTO SISTÊMICO                         | 55        |
| 7.6. A MONTAGEM FÍSICA COMO PERCURSO INVESTIGATIVO                        | 55        |
| 7.7. POTENCIAL PEDAGÓGICO DA CONFIGURAÇÃO DESENVOLVIDA                    | 56        |
| 7.8. LIMITAÇÕES COMO FONTES DE NOVAS QUESTÕES INVESTIGATIVAS              | 57        |
| 7.9. SÍNTESE INTEGRADORA                                                  | 57        |
| <b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                            | <b>59</b> |
| <b>9. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>                                       | <b>61</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Teixeira (2014), o conhecimento, em sua essência, nasce da relação entre um sujeito curioso e o mundo que o cerca, na tentativa de decifrar um fenômeno ou responder a uma pergunta insistente. Desde o início da civilização, a educação constitui-se como resposta a uma necessidade vital de transmissão de experiências, saberes e valores que dão sentido à vida em sociedade: inicialmente oral e comunitária, na qual essa transmissão foi se formalizando com o surgimento das civilizações, encontrando na Grécia Antiga, por exemplo, sua expressão mais elaborada na *paideia*.

Nesse contexto de busca pelo entendimento do mundo vivo, o ensino de Zoologia enfrenta o desafio de superar a passividade das aulas puramente teóricas. A complexidade dos ciclos biológicos exige que o educador procure estratégias que não apenas informem, mas que conectem o estudante à realidade dos seres estudados. É nesta intersecção entre a curiosidade científica e a necessidade pedagógica que este trabalho se situa, focando-se num grupo de animais que, embora comum, permanece cercado de mitos e desconhecimento: os aracnídeos.

A escolha específica do tema "reprodução sexuada dos escorpiões" justifica-se, primeiramente, pelo fascínio e pela curiosidade instintiva que estes animais despertam no ambiente escolar. Apesar de serem frequentemente associados ao medo, os escorpiões possuem comportamentos reprodutivos de uma sofisticação ímpar, como a "dança nupcial" (*promenade à deux*), um ritual que envolve sincronia e transferência indireta de esperma, oferecendo um material riquíssimo para a discussão de conceitos evolutivos e fisiológicos que são difíceis de visualizar sem recursos dinâmicos.

Além do mérito biológico, a relevância deste estudo estende-se à esfera da saúde pública. Com o fenômeno da urbanização e o consequente aumento dos acidentes por escorpionismo, torna-se urgente que o ensino de Ciências proporcione um conhecimento real sobre o ciclo de vida e o comportamento destes animais. Compreender como se reproduzem e como ocupam o espaço urbano é uma ferramenta de prevenção e consciencialização social, conferindo ao tema uma importância que ultrapassa os muros da academia e toca a segurança da comunidade.

No entanto, a transição destes conceitos complexos para a sala de aula exige mediações didáticas eficazes. O ensino tradicional, muitas vezes limitado a figuras estáticas

em manuais escolares, falha em captar a natureza sequencial e dinâmica da reprodução animal. Surge, então, a necessidade de ferramentas que permitam a materialização do abstrato, transformando descrições teóricas em experiências manipuláveis que favoreçam a zona de desenvolvimento proximal do estudante, conforme sugerido pelas teorias de aprendizagem ativa.

Nesta perspectiva, a robótica educativa, através da plataforma Arduino, apresenta-se como uma solução tecnológica acessível e versátil. O uso desta tecnologia permite a criação de modelos interativos que simulam fenômenos naturais, promovendo o "aprender fazendo" e a interdisciplinaridade. Ao programar e construir um protótipo que representa o comportamento de um ser vivo, o aluno deixa de ser um receptor de informações e assume o papel de investigador, integrando conhecimentos de biologia, lógica e eletrônica num único processo de descoberta.

Para fundamentar esta proposta, este trabalho estruturou-se a partir de uma Revisão Integrativa da Literatura (RIL), que permitiu mapear as evidências científicas sobre o uso de tecnologias no ensino de biologia e os detalhes da zoologia dos escorpiões. Esta base bibliográfica foi crucial para garantir que o recurso didático desenvolvido não fosse apenas um acessório tecnológico, mas um instrumento cientificamente rigoroso e pedagogicamente alinhado com as necessidades identificadas nas pesquisas atuais da área.

Por fim, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo funcional que simula as fases da reprodução dos escorpiões, servindo como uma ponte entre a tecnologia e a sala de aula. Espera-se que, ao materializar processos biológicos invisíveis ao cotidiano escolar, este recurso ajude a desmistificar a figura do escorpião e fomente uma aprendizagem mais profunda e engajadora. A integração entre a cultura *Maker* e o ensino de Zoologia desenha, assim, um caminho promissor para uma educação científica renovada e conectada com os desafios do século XXI.

## 2. JUSTIFICATIVA

O ensino de Zoologia, especialmente no que se refere à reprodução de invertebrados, enfrenta desafios constantes devido à falta de recursos que permitam visualizar comportamentos que são difíceis de observar na natureza. A escolha do tema sobre a reprodução dos escorpiões justifica-se pelo enorme fascínio e curiosidade que estes animais despertam, embora muitas vezes sejam vistos apenas com medo. Na verdade, eles possuem um ritual reprodutivo muito rico e complexo, como a "dança nupcial", que raramente é explorada de forma prática nas escolas. Assim, o uso de um modelo tecnológico permite que algo tão específico e interessante se torne acessível e visual para os alunos, transformando a curiosidade inicial num conhecimento científico real.

Além do interesse biológico, este trabalho fundamenta-se na sua importância para a saúde pública. Com o crescimento da presença de escorpiões em áreas urbanas e o aumento do número de acidentes, torna-se essencial que o ensino de Ciências aborde o ciclo de vida e a reprodução destes animais de forma clara. Ao compreender como eles se reproduzem e se comportam, os alunos e a comunidade podem lidar melhor com a prevenção de acidentes. Portanto, o projeto une a necessidade pedagógica de ensinar biologia animal com um tema que tem um impacto direto na vida e na segurança das pessoas no dia a dia.

Para concretizar esta proposta, a utilização da plataforma Arduino e da robótica educativa (cultura Maker) apresenta-se como a ferramenta ideal para modernizar as aulas. Este recurso permite que o aluno saia da posição de apenas ouvir e passe a participar na construção de um modelo que simula a vida real. Para garantir que este protótipo seja fiel à ciência, foi realizada uma Revisão Integrativa da Literatura (RIL), que serviu para mapear o que existe de mais atual sobre o tema e fundamentar a criação do recurso didático. Dessa forma, o trabalho não se limita apenas à tecnologia, mas cria uma ponte sólida entre a engenharia do Arduino e os conceitos biológicos, facilitando o processo de ensino-aprendizagem através do "aprender fazendo".

### **3. OBJETIVOS**

#### **GERAL:**

Desenvolver e avaliar um modelo didático interativo com auxílio da plataforma Arduino para o ensino da reprodução sexuada dos escorpiões, visando auxiliar na materialização de conceitos biológicos abstratos, bem como fomentar a aprendizagem ativa em Ciências.

#### **ESPECÍFICOS:**

- Mapear criticamente as produções científicas sobre o uso do Arduino no ensino de Biologia e os estudos sobre a reprodução dos escorpiões, através de uma Revisão Integrativa da Literatura (RIL), para fundamentar a construção do recurso;
- Conceber e validar tecnicamente um protótipo funcional baseado em Arduino que simule os estágios do comportamento reprodutivo dos escorpiões, assegurando sua acessibilidade e adequação para o uso em ambiente escolar;
- Analisar o potencial pedagógico do modelo desenvolvido, elaborando uma proposta de aplicação com orientações que permitam a sua replicação em diferentes contextos educacionais.

## **4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1. ENSINO TRADICIONAL E SUAS LIMITAÇÕES**

A educação formal, ao longo de sua trajetória histórica, foi profundamente marcada por um ideal de eficiência e racionalidade, moldado para atender às demandas de uma sociedade industrial que valorizava a padronização e a produtividade. Nesse paradigma, a escola operava como uma linha de montagem do saber, na qual conhecimentos eram transmitidos de modo linear e uniforme, na expectativa de formar indivíduos ajustados a um padrão predefinido. Contudo, essa estrutura, ao priorizar a eficiência na transmissão, falhou gravemente em cultivar o que há de mais vital no espírito humano: a capacidade crítica e criativa (POSTMAN, 1993).

Esse modelo único para todos, ao desconsiderar a singularidade de cada aprendiz, gerou uma profunda segmentação educacional. Lave e Wenger (1991) demonstram que o aprendizado é, antes de tudo, um processo social e situado, impregnado de significado cultural. Ignorar as múltiplas formas de conhecer, as histórias, os contextos e os ritmos diversos dos estudantes promove uma exclusão sutil, mas poderosa, que marginaliza saberes e empobrece o próprio ato de aprender. A perpetuação desse sistema é reforçada por um regime de avaliação que, como crítica Gardner (1993), reduz o conhecimento a números e classificações. Os testes padronizados, longe de diagnosticar a compreensão profunda, incentivam frequentemente a memorização superficial, sufocando a curiosidade e restringindo a habilidade de pensar com autonomia.

Diante deste panorama, torna-se evidente que a rigidez do modelo tradicional já não responde às necessidades complexas de uma sociedade em constante transformação e aos anseios de uma nova geração de aprendizes. É inadiável, portanto, uma reorientação do foco educacional, que desloque o centro de gravidade do ensino para a aprendizagem, da transmissão para a construção e da uniformidade para a diversidade.

Esta mudança de paradigma encontra sua base filosófica no pensamento de Paulo Freire (1996), para quem a educação autêntica é um ato dialógico, um encontro entre sujeitos curiosos em busca do mundo. Nesta visão, o estudante deixa de ser um recipiente vazio a ser preenchido, numa educação bancária, para assumir o papel de protagonista de sua própria formação. Trata-se de uma perspectiva que visa não apenas a aquisição de conteúdos, mas a formação de cidadãos capazes de ler o mundo criticamente e de intervir nele de forma ética e

transformadora, fundamentando assim uma sociedade verdadeiramente democrática e equitativa (GUIMARÃES, 2025).

A transição deste ideal para a prática cotidiana, no entanto, exige mais do que boa vontade; demanda ferramentas mediadoras concretas que materializam essa nova relação com o saber. É necessário criar condições pedagógicas que convertam a passividade do aluno em ação investigativa, que transformem a sala de aula em um espaço de experimentação, colaboração e autoria. Neste contexto, a integração de tecnologias educacionais inovadoras e acessíveis deixa de ser um acessório para tornar-se um elemento central. Elas surgem como potentes aliadas para criar ambientes onde o conhecimento não é apenas consumido, mas prototipado, testado e vivido, permitindo que a teoria ganhe corpo, movimento e significado na experiência direta do aprendiz (MAGRIN, 2022). É nesta fronteira entre o pensar e o fazer, entre a crítica e a criação, que se constrói o caminho para uma educação renovada e ativa.

## **4.2. APRENDIZAGEM ATIVA E MEDIAÇÕES PEDAGÓGICAS**

No centro de qualquer proposta educacional que aspire à transformação, e não apenas à transmissão, reside um conceito fundamental: a aprendizagem ativa. Mais do que uma técnica, trata-se de uma compreensão profunda de como o ser humano verdadeiramente aprende. Diferente da memorização mecânica, onde um esforço solitário para reter informações desconectadas, a aprendizagem ativa é um processo de ancoragem (NOVAK, 1998). É o ato pelo qual o estudante estabelece relações substantivas entre o novo conhecimento e a rede de significados, experiências e conceitos que já habitam sua estrutura cognitiva. O resultado não é um acúmulo temporário de dados, mas a construção de um entendimento duradouro, pessoal e aplicável, que confere sentido ao que se aprende (CARNEIRO, 2011).

Para que esse processo floresça, o papel do educador se transforma radicalmente. Ele deixa de ser o detentor exclusivo do saber para assumir a função essencial de mediador. Sua tarefa principal não é falar *para* o aluno, mas criar as condições dialógicas e materiais para que o aluno fale *com* o conhecimento. As mediações pedagógicas são justamente essas intervenções e estratégias intencionais que o professor emprega para facilitar a travessia do estudante em direção à compreensão (BROUDY, 1992). Elas configuram um ambiente rico

em diálogo e problematização, onde o conteúdo deixa de ser uma informação estática para se tornar um problema a ser investigado.

Essa visão encontra ressonância na ideia de Jerome Bruner (1996) sobre a aprendizagem por descoberta. Para ele, o conhecimento deve ser ativamente construído pelo aprendiz, e o grande desafio da mediação é proporcionar experiências cognitivas que sirvam de convite à exploração. O mediador, então, oferece ferramentas, contextos e desafios que estimulam a investigação pessoal e a troca com os pares.

É no pensamento de Lev Vygotsky (1991), porém, que a ideia de mediação adquire sua dimensão social mais plena e sua potência transformadora. Para o psicólogo, aprender é um ato intrinsecamente social; acontece primeiro entre pessoas, na linguagem compartilhada e na colaboração, para só depois ser internalizado como função psicológica individual. O conceito-chave que ilumina esse processo é a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Vygotsky (1991, p. 97) a define como:

“A distância entre o nível de desenvolvimento real, determinado pela capacidade de resolver problemas independentemente, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da resolução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. [...] O que a criança pode fazer com a ajuda de hoje, ela será capaz de fazer sozinha amanhã.”

Nessa perspectiva, o professor atua como o mediador por excelência, aquele que, conhecendo o ponto de partida do aluno e seu potencial, oferece um suporte temporário e ajustável (*scaffolding*) para que ele realize, com ajuda, hoje, o que fará sozinho amanhã. A mediação, portanto, não é uma muleta, mas um andaime que se desmonta à medida que a construção cognitiva se fortalece.

Diante disso, fica claro que para ensinar conteúdos complexos, sequenciais e abstratos, como os processos biológicos, de maneira ativa, não basta explicá-los. É imperativo proporcionar mediações que ofereçam ancoragens concretas e manipuláveis. É necessário construir pontes materiais entre a abstração do conceito e a experiência sensível do aluno. Modelos, simulações e protótipos interativos ocupam a Zona de Desenvolvimento Proximal, permitindo ao estudante manipular variáveis, testar hipóteses e visualizar relações, transformando a observação passiva em uma experiência cognitiva ativa e compartilhada. É na materialização do abstrato que a mediação pedagógica encontra um de seus instrumentos mais potentes para fomentar uma aprendizagem verdadeiramente ativa e transformadora (MASSETTO, 2012).

Nessa perspectiva, Massetto (2012, p. 144-145) conceitua a mediação pedagógica da seguinte forma:

“Por mediação pedagógica entendemos a atitude, o comportamento do professor que se coloca como um facilitador, incentivador ou motivador da aprendizagem, que se apresenta com a disposição de ser uma ponte entre o aprendiz e sua aprendizagem – não uma ponte estática, mas uma ponte “rolante”, que ativamente colabora para que o aprendiz chegue aos seus objetivos. É a forma de se apresentar e tratar um conteúdo ou tema que ajuda o aprendiz a coletar informações, relacioná-las, organizá-las, manipulá-las, discuti-las e debatê-las com seus colegas, com o professor e com outras pessoas (interaprendizagem), até chegar a produzir um conhecimento que seja significativo para ele, conhecimento que se incorpore ao seu mundo intelectual e vivencial e que o ajude a compreender sua realidade humana e social, e mesmo a interferir nela. “

Neste cenário de mediação, as conexões estabelecidas não se limitam ao espaço físico da sala de aula, mas estendem-se ao ambiente digital e tecnológico. À luz do conectivismo, conforme proposto por Siemens (2004) e corroborado pela ideia de inteligência coletiva de Pierre Lévy, o aprendizado ocorre através da conexão de nós em uma rede. No desenvolvimento deste protótipo, a mediação pedagógica conecta o saber biológico, a programação e a eletrônica, permitindo que o conhecimento emergja da interação entre o aluno e essas diversas fontes de informação. Assim, o Arduino deixa de ser apenas uma ferramenta para tornar-se um ponto de conexão que facilita a construção coletiva e tecnológica do saber.

#### **4.3. TECNOLOGIAS DIGITAIS NA EDUCAÇÃO E AS METODOLOGIAS ATIVAS**

A relação entre educação e tecnologia transcende a mera adição de ferramentas; trata-se de um diálogo profundo que redefine os contornos do ensinar e do aprender. Na contemporaneidade, as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) emergem não como acessórios, mas como elementos constitutivos de uma nova ecologia do conhecimento. Elas ampliam radicalmente as oportunidades de ensino e aprendizagem, potencializando a construção do saber ao criar espaços educativos que são, por natureza, mais interativos, colaborativos e sensíveis às trajetórias individuais (REDECKER, 2017). Seu impacto, portanto, reside na capacidade de reestruturar as práticas pedagógicas em sua essência. Essa ecologia do conhecimento dialoga diretamente com o conectivismo, onde a aprendizagem é entendida como um processo de formação de redes. Como propõe Pierre Lévy, as tecnologias não substituem o pensamento, mas expandem nossa 'inteligência coletiva', permitindo que o aluno se conecte a novos fluxos de informação e ferramentas de autoria, como a robótica.

No ensino de Ciências, essa reestruturação é particularmente ativa. As TDIC não servem apenas para ilustrar melhor um conceito; elas criam as condições para que metodologias centradas na investigação e na autoria floresçam. Conforme destacam Freeman et al. (2014), elas permitem uma transição vital: da transmissão de um conteúdo estático para a criação de ambientes onde o aluno assume um papel ativo e investigativo. O estudante deixa de ser um espectador do fenômeno biológico para tornar-se, simbolicamente, seu experimentador.

É nesse solo fértil que as chamadas metodologias ativas, como a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABPj) e a Sala de Aula Invertida, encontram seu meio de expressão mais vigoroso. Essas abordagens, que privilegiam o envolvimento ativo, o raciocínio crítico e a construção colaborativa do conhecimento, são potencializadas de forma exponencial pelas TDIC (BELL, 2010; LAGE; PLATT; TREGLIA, 2000). A tecnologia fornece a plataforma, os dados e os instrumentos de criação que transformam a teoria em prática investigativa.

Laurillard (2012) oferece uma visão elucidativa desse processo ao descrever um ciclo conversacional mediado pela tecnologia. Nesse ciclo, a interação do aluno com o conteúdo é contínua, alimentada por um *feedback* imediato que permite ajustes, testes de hipóteses e refinamento do entendimento. No contexto do ensino de Biologia, esse ciclo ganha vida concreta quando os alunos podem manipular variáveis e observar resultados em tempo real. É justamente aqui que ferramentas acessíveis e versáteis, como a plataforma Arduino, demonstram seu valor ímpar: elas materializam esse ciclo de investigação, transformando conceitos abstratos em experiências tangíveis e programáveis.

No entanto, a promessa transformadora das TDIC não se realiza por sua simples presença na sala de aula. Sua efetividade está intrinsecamente atrelada à capacitação e à intencionalidade pedagógica do docente (ERTMER; OTTENBREIT-LEFTWICH, 2010). O professor precisa ser capaz de integrar essas ferramentas de maneira estratégica, alinhando-as de forma crítica e criativa aos objetivos curriculares. Além disso, para que a tecnologia seja verdadeiramente democratizante, ela precisa ser acessível tanto financeiramente quanto em termos de usabilidade, adaptando-se aos contextos reais das escolas públicas.

Portanto, as TDIC mostram-se ideais para dar vida às metodologias ativas porque atendem a três demandas centrais da aprendizagem ativa em ciências: a investigação

(permitindo a exploração de problemas), a manipulação (oferecendo interfaces para interagir com variáveis) e o *feedback* imediato (possibilitando a correção de rumos em tempo real). Essas características definem uma ferramenta pedagógica ideal para a experimentação prática. E é nesse horizonte que a plataforma Arduino se consolida como um exemplo paradigmático: uma tecnologia de baixo custo, código aberto e imenso potencial criativo que, quando mediada por uma intenção pedagógica clara, torna-se um instrumento poderoso para dar concretude, interatividade e significado ao ensino dos processos biológicos mais complexos (SOBREIRA, VIVEIRO e D'ABREU, 2016).

#### **4.4. O ARDUINO COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA MATERIALIZAR A APRENDIZAGEM ATIVA**

A busca por estratégias que transcendam a mera transmissão de informações e que toquem efetivamente a experiência de aprender encontra, na convergência entre educação e tecnologia, um terreno fértil para inovações profundas. Para materializar os princípios das metodologias ativas e da aprendizagem ativa, especialmente diante do desafio de conteúdos biológicos complexos e intangíveis, emerge com singular potencial a plataforma Arduino. Mais do que um conjunto de componentes eletrônicos, o Arduino representa uma filosofia de abertura, prototipagem e “mão na massa” que tem revolucionado a educação *maker* e científica.

Concebida como uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* e *software* livres, sua força pedagógica reside justamente em sua simplicidade elegante e no baixo custo de acesso. Como destaca Blikstein (2013), seu impacto vai muito além do ensino técnico de STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática); ela se torna uma interface poderosa para a modelagem e simulação de processos naturais. Ao permitir que os estudantes programem e controlem dispositivos físicos, o Arduino possibilita a criação de projetos tangíveis que deslocam radicalmente o papel do aprendiz: de espectador passivo de explicações para investigador ativo de fenômenos.

Esse deslocamento tem implicações profundas no desenvolvimento do estudante. Conforme apontam Silva e Leite (2017), a jornada de projetar, montar e programar com o Arduino demanda e, ao mesmo tempo, cultiva um conjunto rico de competências. O pensamento lógico é exercitado na estruturação do algoritmo; a criatividade, na busca por soluções para problemas concretos; e a capacidade de resolver problemas se torna a própria

trajetória do projeto. O aluno é colocado, assim, no papel de arquiteto do seu próprio conhecimento.

No âmbito específico do ensino de Ciências e Biologia, essa arquitetura ganha uma dimensão particularmente reveladora. Ao invés de apenas ler sobre um ritual reprodutivo, o estudante pode observar um sistema que simula essa sequência comportamental. Através da resposta do modelo físico, uma luz que se acende, um motor que gira, ele vivencia a relação de causa e efeito de maneira indelével. Essa experiência transforma a lógica abstrata do processo biológico em uma narrativa interativa. Ademais, como destacam Martins e colaboradores (2019), o Arduino atua como um agente de interdisciplinaridade, dissolvendo as barreiras artificiais entre física, matemática, programação e biologia, e permitindo que conceitos abstratos sejam compreendidos por meio do manuseio de sistemas integrados. Ele se ergue, assim, como a ponte por excelência entre a abstração teórica e a concretude sensorial.

Evidências de pesquisas reforçam esse potencial. Romero et al. (2020) sugerem que o uso do Arduino, principalmente quando integrado a abordagens como a Aprendizagem Baseada em Projetos, tende a aumentar significativamente o engajamento e o rendimento dos estudantes. A razão é estrutural: essa combinação exige do aluno o ciclo completo do pensamento científico, do planejamento e execução prática à coleta de dados e análise crítica dos resultados, superando a aprendizagem passiva baseada na memorização.

Para que esse potencial se realize plenamente em sala de aula, no entanto, um elemento é absolutamente imprescindível: a formação e a mediação do professor. Como alertam Moura e Soares (2018), é crucial que os educadores dominem não apenas os aspectos técnicos da ferramenta, mas, sobretudo, as estratégias didáticas para incorporá-la de forma contextualizada e ativa ao currículo. O professor deve ser o maestro que orquestra a tecnologia em prol de objetivos pedagógicos claros.

Em síntese, o Arduino se configura muito mais do que uma ferramenta tecnológica; ele é um potente mediador pedagógico. Sua adoção no ensino de Biologia representa uma estratégia concreta para enfrentar o desengajamento e a superficialidade que tantas vezes marcam o aprendizado de conteúdos complexos. Essa integração é corroborada pelos achados da Revisão Integrativa da Literatura realizada neste estudo, que demonstra a eficácia do Arduino em reduzir a abstração e aumentar o engajamento em conteúdos de zoologia,

validando a escolha desta plataforma como mediadora pedagógica central. Oferece um caminho viável e profundamente alinhado com as teorias da aprendizagem para realizar, finalmente, a tão almejada integração entre pensar e fazer, entre teoria e prática, no coração da escola pública (SILVA ET AL., 2025).

#### **4.5. ESCORPIÕES: UM CASO EMBLEMÁTICO PARA O ENSINO DE PROCESSOS BIOLÓGICOS COMPLEXOS**

A verdadeira medida de uma ferramenta educativa não está apenas em sua novidade, mas em sua capacidade de iluminar o que, de outra forma, permaneceria nas sombras da abstração. O Arduino atinge seu ápice como mediador pedagógico justamente quando é convocado para dar forma e movimento aos processos biológicos que são, por natureza, sequenciais, dinâmicos e velados aos nossos sentidos imediatos. Um caso que se ergue como um desafio didático paradigmático é o da reprodução sexuada dos escorpiões.

Estes seres, habitantes ancestrais do planeta pertencentes à classe Arachnida, carregam em sua morfologia e comportamento a marca de uma extensa trajetória evolutiva. Sua notável resiliência e capacidade de adaptação a ambientes dos mais hostis aos urbanizados os tornam muito mais que curiosidades zoológicas; são testemunhas vivas de princípios ecológicos e evolutivos fundamentais. Ensinar sobre o escorpião é, portanto, ensinar sobre persistência, sobre estratégia de vida e sobre a complexa teia de relações que sustenta a vida.

É no intrincado ritual de sua reprodução, no entanto, que reside o cerne de seu desafio e de seu fascínio pedagógico. Longe de ser um evento simples, a reprodução dos escorpiões é um comportamento sofisticado, uma coreografia vital composta por etapas sequenciais e rigorosamente interdependentes. Tudo começa com um diálogo químico silencioso, um reconhecimento por feromônios. Segue-se então um encontro tátil, a célebre "dança" nupcial, onde macho e fêmea se entrelaçam em um movimento conjunto que não é de combate, mas de acoplamento para a precisa deposição do espermatóforo. Finalmente, ocorre a delicada transferência gamética (POLIS & SISSOM, 1990; BENTON, 2001). Este processo, por si só, já é uma aula sobre comunicação, sincronia e investimento reprodutivo. Além disso, o tema ganha outra camada de profundidade quando consideramos que algumas espécies recorrem à partenogênese facultativa, uma estratégia reprodutiva alternativa que permite discussões

riquíssimas sobre plasticidade fenotípica e vantagens adaptativas (AMUNDRUD et al., 2018).

É precisamente este caráter narrativo que converte o tema em um candidato ideal para uma tradução pedagógica através do Arduino. A reprodução do escorpião não é um fato, mas um processo, uma cadeia lógica de estímulos e respostas, de causas e efeitos comportamentais. Esta lógica representa a própria essência do tipo de abstração que o ensino tradicional, apoiado em figuras estáticas e na memorização de etapas, frequentemente falha em comunicar.

É aqui que a plataforma Arduino se revela não como uma opção, mas como uma resposta pedagógica orgânica. Um modelo interativo baseado em sua arquitetura possibilita transcender a abstração. Ele permite converter a descrição teórica de um ritual complexo em uma experiência sensível e manipulável. Os alunos não mais apenas ouvem sobre a dança; eles observam, em tempo real, o desenrolar lógico do processo. Ao interagir com as variáveis do sistema, testando, por exemplo, o que acontece se um estímulo for interrompido, eles deixam de ser espectadores de uma história contada para tornarem-se investigadores de uma lógica viva. Dessa forma, o Arduino faz muito mais do que ilustrar: ele materializa a narrativa da vida, apresentando-se como uma ferramenta multidisciplinar para a aprendizagem em diversos campos de atuação, como engenharias e biológicas, em uma jornada de descoberta profundamente ativa (SILVA e BARBOSA, 2023).

#### **4.6. MODELOS INTERATIVOS, VISUALIZAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE PROCESSOS BIOLÓGICOS**

A compreensão dos fenômenos da vida, tal como ocorre no ensino de Biologia, exige mais do que a apreensão de fatos isolados; demanda a capacidade de visualizar relações dinâmicas, de intuir processos ocultos e de conectar a lógica teórica à experiência sensível. Nesta travessia do abstrato ao concreto, modelos interativos emergem como mediadores decisivos. Eles permitem que processos naturais complexos e intangíveis ganhem movimento e forma, convidando o aluno a uma compreensão que é visual, dinâmica e, portanto, mais profunda (ZABALA, 1998). A representação visual, nesse contexto, não é um mero ornamento didático, mas um andaime cognitivo essencial. Ela auxilia o aprendiz a transcender a abstração pura, oferecendo uma âncora tangível que favorece a construção de modelos mentais robustos e funcionais (AINSWORTH, 1999). É no ato de investigar com as

próprias mãos, de formular hipóteses, manipular variáveis e confrontar-se com as evidências, que a curiosidade se transforma em conhecimento crítico e pessoal (KUHN, 2010).

Contudo, o verdadeiro salto qualitativo na aprendizagem ativa ocorre quando essas duas dimensões, a visualização e a experimentação não apenas coexistem, mas entram em uma sinergia transformadora. As representações visuais fornecem o mapa e o contexto para interpretar os dados gerados pela prática experimental, enquanto a experimentação confere sentido e realidade às representações. Esta integração conduz a um aprendizado que é mais profundo, integrado e, acima de tudo, duradouro (LINN et al., 2006).

As tecnologias digitais contemporâneas surgem como grandes catalisadoras dessa sinergia. Simuladores e plataformas de prototipagem eletrônica ampliam exponencialmente o território do possível na educação científica. Elas permitem explorar, de modo seguro, controlado e profundamente adaptável, fenômenos e sistemas que, no mundo físico, seriam de custo proibitivo, eticamente inviáveis ou simplesmente inacessíveis à observação direta em um laboratório escolar tradicional (DE JONG; LINN; ZACHARIA, 2013). A tecnologia, assim, não substitui o real, mas o potencializa pedagogicamente, criando um espaço de experimentação livre e ativa.

É precisamente neste horizonte de possibilidades que o uso da plataforma Arduino para criar modelos experimentais interativos revela sua potência singular. O Arduino não é apenas uma ferramenta; é uma síntese material dos dois pilares. Ele permite que os alunos não apenas vejam uma representação gráfica e dinâmica de um processo biológico sequencial, como o intrincado ritual reprodutivo dos escorpiões, mas que também o manipulem ativamente. Por meio de sensores que captam entradas, atuadores que produzem respostas e uma programação que estabelece a lógica do sistema, os estudantes mergulham na investigação. Eles podem testar variáveis alterando, por simulação, a duração de uma fase do cortejo ou uma condição ambiental, interferir no sistema e observar em tempo real as consequências de suas intervenções. Esta abordagem realiza na prática o que a teoria preconiza: materializa a mediação pedagógica, cria uma zona de desenvolvimento proximal fértil para a colaboração e a tutoria, e operacionaliza de forma concreta a aprendizagem baseada em problemas e em projetos. A teoria deixa de ser uma narrativa externa para se tornar uma experiência investigativa palpável, na qual o aluno é o protagonista.

Portanto, a proposta de desenvolver e aplicar um modelo de Arduino para simular a reprodução dos escorpiões transcende em muito a mera aplicação de uma tecnologia inovadora. Ela representa a convergência viva de pressupostos teóricos fundamentais: a aprendizagem ativa que se ancora na experiência, as metodologias ativas que exigem autoria, e o poder integrado da visualização e da experimentação. Constitui, assim, muito mais que um recurso didático; é uma resposta pedagógica concreta aos limites do ensino tradicional. Oferece um caminho viável e profundamente engajador para transformar a abstração conceitual em um conhecimento que é, em sua essência, experiencial, significativo e transformador (RESNICK ET AL., 2009; BANZI & SHILOH, 2014).

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 ABORDAGENS DA PESQUISA**

A presente pesquisa caracteriza-se como uma investigação de abordagem qualitativa, de natureza aplicada, com caráter descritivo e interpretativo. Esta opção metodológica justifica-se pela natureza do objeto de estudo: o desenvolvimento e a análise de um artefato educacional tecnológico, onde a compreensão dos processos de concepção, construção e avaliação técnico-pedagógica do recurso didático, e não a mensuração de variáveis numéricas.

O trabalho configura-se como um estudo de desenvolvimento de recurso didático, no qual a pesquisadora assume o papel bivalente de projetista e investigadora. Esta posição permite uma reflexão crítica sobre o processo de prototipagem e as suas implicações no ensino de Biologia, estabelecendo um diálogo entre os referenciais da aprendizagem ativa (SHULMAN, 1986; 1987) e a teoria do Conectivismo (SIEMENS, 2004). Sob a ótica conectivista, entende-se que o conhecimento não reside apenas no indivíduo, mas nas conexões estabelecidas entre diferentes áreas do saber, neste caso, a Robótica e a Zoologia e na mediação tecnológica como facilitadora de novas ecologias de aprendizagem (LÉVY, 1999).

A fundamentação teórica inicial deste estudo será ancorada numa Revisão Integrativa da Literatura (RIL). Diferente de uma revisão meramente bibliográfica, a RIL permite a síntese de múltiplos estudos publicados, possibilitando conclusões gerais sobre o estado da arte e a identificação precisa de lacunas que justificam o ineditismo deste protótipo.

Ressalta-se que a pesquisa não envolveu coleta de dados com seres humanos, não se caracterizando como pesquisa com participantes, estando em estrita conformidade com a Resolução CNS nº 510/2016. Assim, os resultados e a discussão não se orientam por análises estatísticas, mas pela interpretação crítica do processo de desenvolvimento do protótipo e das suas potencialidades enquanto mediador de conceitos biológicos complexos.

## **5.2 ETAPAS GERAIS DA PESQUISA**

Esta pesquisa foi conduzida em três etapas principais, sequenciais e inter-relacionadas, que buscam alinhar a fundamentação teórica, a construção prática e a validação contextualizada do recurso didático proposto.

A primeira etapa consistiu em uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), visando mapear o estado da arte sobre o uso do Arduino no ensino de Ciências e Biologia, bem como aprofundar o conhecimento sobre a biologia reprodutiva dos escorpiões, identificando lacunas que justificam a proposta.

A segunda etapa foi o Desenvolvimento do Protótipo Didático, na qual os conhecimentos adquiridos na revisão foram traduzidos em um modelo físico interativo, utilizando a plataforma Arduino para simular as etapas do comportamento reprodutivo do escorpião.

Por fim, a terceira etapa envolveu a Análise Técnico-Pedagógica do Protótipo, na qual o artefato foi avaliado quanto à sua adequação científica, usabilidade e potencial pedagógico. O recurso foi preparado para que, futuramente, seja submetido à análise crítica e ao refinamento técnico em campo, constituindo-se esta pesquisa como uma etapa de validação do artefato prévia à sua implementação em contexto de sala de aula. Estas etapas seguem uma lógica recursiva, na qual as percepções obtidas em cada ciclo permitiram ajustes imediatos, garantindo a robustez do produto final.

## **5.3 REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA (RIL)**

### **5.3.1 OBJETIVO E CARACTERIZAÇÃO DA REVISÃO**

A Revisão Sistemática da Literatura foi conduzida com o objetivo de mapear e analisar criticamente as produções científicas relacionadas ao uso da plataforma Arduino no ensino de Ciências e Biologia, bem como estudos sobre a biologia reprodutiva dos escorpiões, fornecendo base teórica e científica para o desenvolvimento do protótipo didático.

A RSL foi compreendida como um procedimento metodológico rigoroso, voltado à organização, síntese e interpretação qualitativa do conhecimento produzido na área, conforme orientações de Megid Neto (1999) e Silva, Lins e Leão (2015). Esse processo permitiu situar

o presente estudo no campo das pesquisas em tecnologia educacional, identificando contribuições, lacunas e perspectivas relevantes para a construção do artefato pedagógico.

### 5.3.2 PROTOCOLO DA REVISÃO

A condução desta revisão sistemática seguiu um protocolo claro e sequencial, organizado em quatro etapas fundamentais, conforme representado na Figura 1, cada uma com sua função específica na triagem e na síntese do conhecimento.



Figura 1: Descritores da Pesquisa

**Busca Eletrônica nas Bases de Dados:** Esta fase inicial consistiu em uma varredura minuciosa e sistemática por estudos acadêmicos em bases de dados científicas relevantes.

Utilizamos combinações de palavras-chave, definindo períodos e critérios de inclusão para garantir que a busca fosse, ao mesmo tempo, abrangente e focada.

**Seleção e Identificação dos Estudos Elegíveis:** A partir do conjunto de resultados obtidos, aplicamos critérios de elegibilidade pré-definidos relacionados ao tema, metodologia e ano de publicação para selecionar os estudos mais pertinentes à nossa questão de pesquisa. Essa triagem foi realizada por meio da leitura de títulos, resumos e, quando necessário, do texto completo.

**Extração e Organização dos Dados:** Com os estudos selecionados em mãos, partimos para a extração sistemática de informações-chave como autores, ano, objetivos, metodologia, principais resultados e conclusões, organizando-as em uma matriz de dados. Esta ferramenta permitiu visualizar e comparar o corpus da pesquisa de forma estruturada.

**Análise e Síntese dos Resultados:** Na etapa final e mais interpretativa, analisamos criticamente os dados organizados, buscando identificar convergências, divergências, lacunas e tendências predominantes no campo investigado. Esta síntese não apenas fundamenta teoricamente o projeto, mas também aponta caminhos e justifica a pertinência da nossa proposta de desenvolvimento.

## **5.4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DIDÁTICO**

A construção do recurso didático, núcleo prático desta investigação, foi orientada por um compromisso duplo: a fidelidade científica ao comportamento animal e a viabilidade pedagógica para o ambiente escolar. O processo de desenvolvimento foi dividido em três fases:

### **5.4.1 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E MODELAGEM BIOLÓGICA**

Imediatamente após a consolidação dos dados da Revisão Sistemática, os conhecimentos sobre a biologia reprodutiva dos escorpiões foram "traduzidos" para uma lógica de programação. O objetivo foi mapear a sequência comportamental composta pelo reconhecimento químico, a "dança nupcial" (cortejo tátil). Esta fase garantiu que a abstração pedagógica fosse sustentada por rigor científico.

### **5.4.2 PROTOTIPAGEM FÍSICA E ADAPTAÇÕES MORFOLÓGICAS**

A materialização do projeto ocorreu através da plataforma Arduino, utilizando componentes de baixo custo para assegurar a replicabilidade do recurso. A estrutura física baseou-se num modelo robótico de código aberto (Thingiverse #1009659), contudo, foram realizadas adaptações fundamentais com papelão para atender ao rigor biológico e aos objetivos da pesquisa:

1. **Expansão Anatômica:** O modelo original de 4 pernas foi modificado para 8 pernas, respeitando a morfologia real dos aracnídeos.
2. **Desenvolvimento de Estruturas Específicas:** Criação e acoplagem manual das pinças (pedipalpos) e da cauda (metassoma com telson) com materiais recicláveis como o papelão, elementos para a simulação do ritual de acasalamento.
3. **Integração Eletrônica:** Utilização de servomotores SG90 para conferir movimento às articulações, permitindo que o robô execute os passos da "dança" característica da espécie.

#### **5.4.3 CICLOS DE TESTES E DEPURAÇÃO**

Uma vez montado, o protótipo foi submetido a testes técnicos. Esta fase visou identificar falhas de hardware (conexões e alimentação) e inconsistências na programação (tempo de resposta e fluidez dos movimentos). O artefato foi refinado até se tornar uma ferramenta robusta e confiável, apta a ser analisada sob a ótica técnico-pedagógica.

### **5.5 ANÁLISE TÉCNICO-PEDAGÓGICA DO PROTÓTIPO**

Esta etapa consistiu na avaliação qualitativa do artefato desenvolvido, focando na sua funcionalidade técnica e na sua aplicabilidade como recurso mediador da aprendizagem, sem envolver, nesta fase, a pesquisa com seres humanos. A análise foi estruturada em duas frentes complementares:

#### **5.5.1 AUTOAVALIAÇÃO E REFLEXÃO PEDAGÓGICA**

A pesquisadora realizou uma análise reflexiva fundamentada nos referenciais da Aprendizagem ativa e do Conectivismo. Nesta fase, verificou-se se o protótipo conseguia representar fielmente os conceitos abstratos da biologia reprodutiva, como a dança nupcial, e se a interatividade do Arduino promovia a curiosidade necessária para o engajamento do estudante.

Complementarmente, realizou-se uma revisão crítica informal com especialistas, compreendida como o diálogo técnico e pedagógico estabelecido com os orientadores deste trabalho. Estes profissionais, especialistas em Zoologia de Invertebrados e Educação, atuaram como validadores do artefato, analisando a fidelidade biológica dos movimentos programados e a adequação da proposta ao nível de cognição da Educação Básica.

### 5.5.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE

Para ambas as frentes de avaliação, foram utilizados os seguintes critérios:

- **Precisão Científica:** A correspondência entre os movimentos do robô e o comportamento real do escorpião.
- **Interatividade:** A facilidade de operação do sistema Arduino para um usuário não técnico.
- **Potencial Mediador:** A capacidade do recurso de funcionar como uma "ponte" entre a teoria complexa e a visualização prática.

## 5.6 MATERIAIS E RECURSOS UTILIZADOS

Para a materialização do protótipo adaptado e a execução da proposta, foram selecionados componentes que aliam baixo custo, robustez e facilidade de substituição em ambiente escolar. Os materiais foram divididos em três categorias principais:

### 5.6.1 COMPONENTES ELETRÔNICOS E DE CONTROLO

O "cérebro" e a motorização do protótipo foram compostos por:

- **01 Placa Arduino Nano:** Microcontrolador escolhido pelas suas dimensões reduzidas, ideal para integração na estrutura do robô.
- **12 Servomotores SG90:** Atuadores responsáveis pela articulação das 4 pernas permitindo movimentos angulares.
- **01 Placa de Circuito Impresso (PCB):** Utilizada para organizar as conexões elétricas, evitar mau contacto e facilitar a manutenção do hardware.
- **Sistema de Alimentação:** Suporte para 4 a 6 pilhas AA/AAA, garantindo a autonomia e portabilidade do recurso para uso em sala de aula.

### 5.6.2 ESTRUTURA FÍSICA E MODELAGEM 3D

A morfologia do escorpião foi construída através de:

- **Filamento PLA:** Utilizado na impressão 3D das peças principais (corpo e articulações), material biodegradável e de fácil acesso.
- **Elementos Adaptativos:** Papelão e outros materiais maleáveis foram utilizados para a expansão das pernas (de 4 para 8) e modelagem de estruturas anatômicas adicionais (pedipalpos e telson).
- **Fixadores:** Parafusos micrométricos e componentes de articulação para garantir a fluidez da "dança nupcial".

### 5.6.3 INFRAESTRUTURA DE APOIO

A fabricação das peças e a montagem do sistema eletrônico contaram com o suporte técnico de laboratórios parceiros, essenciais para a viabilidade do projeto:

- Laboratório de Ciências e Tecnologia da Prefeitura do Recife: Onde foram realizadas as impressões 3D.
- Laboratório de Sistemas Embarcados e Robótica (LASER/UFRPE): Utilizado para a soldagem de componentes e os servomotores SG90.

## 5.7 AVALIAÇÃO DA PROPOSTA

A análise dos resultados desta pesquisa centrou-se na descrição detalhada e reflexiva do processo de desenvolvimento do artefato, bem como nas suas características técnicas e pedagógicas finais. A avaliação foi conduzida sob uma perspectiva qualitativa, estruturada nos seguintes eixos:

### 5.7.1 DOCUMENTAÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Foi realizado o registo sistemático das etapas de modificação do modelo base, detalhando a expansão anatômica para oito pernas e a construção da lógica de programação. Esta documentação permitiu identificar os "pontos de conexão" entre os desafios técnicos da robótica e a necessidade de fidelidade aos conceitos biológicos, conforme os pressupostos do Conectivismo.

### 5.7.2 ANÁLISE DE DESAFIOS E SOLUÇÕES

Foram documentados os principais obstáculos técnicos superados durante a prototipagem, como a gestão da alimentação dos 12 servomotores e a estabilidade da estrutura física. A resolução destes problemas foi interpretada como parte do processo de construção do conhecimento da investigadora-projetista, refletindo a natureza aplicada da pesquisa.

### **5.7.3 POTENCIALIDADES E SEQUÊNCIA DIDÁTICA SUGERIDA**

O produto final foi avaliado quanto às suas potencialidades para o ensino de Zoologia. Com base nas características do protótipo (interatividade, baixo custo e precisão científica), elaborou-se uma proposta de sequência didática para futuras aplicações em sala de aula. Esta proposta visa orientar professores sobre como o robô pode mediar a aprendizagem ativa, facilitando a transição entre a teoria e a visualização prática do comportamento animal.

### **5.7.4 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS**

Reitera-se que toda a análise foi estritamente qualitativa e descritiva, baseada no diário de bordo da pesquisa e na reflexão sobre o objeto. Não houve tratamento estatístico ou recolha de dados de participantes externos, garantindo que o estudo se mantivesse focado no desenvolvimento do recurso didático, em conformidade com as diretrizes éticas vigentes.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 PANORAMA DA REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA (RIL)

Nesta seção, apresentam-se os dados quantitativos obtidos através do levantamento bibliográfico sistemático. O objetivo deste mapeamento foi identificar a frequência de publicações que relacionam a plataforma Arduino ao ensino de Biologia e, especificamente, ao estudo de escorpiões, fundamentando a necessidade de desenvolvimento do protótipo.

A busca eletrônica, realizada em cinco bases de dados distintas (Google Acadêmico, SciELO, Portal CAPES, ENPEC e CONEDU), cobrindo o recorte temporal de 2015 a 2025, seguiu um processo de filtragem rigoroso para identificar a lacuna de conhecimento que este trabalho se propõe a preencher.

Os volumes totais de trabalhos identificados por eixo e descritor estão detalhados na Tabela 1.

| EIXO DE PESQUISA | STRING DE BUSCA      | GOOGLE ACADÊMICO | SciELO | PORTAL CAPES | ENPEC | CONEDU |
|------------------|----------------------|------------------|--------|--------------|-------|--------|
| Tecnológico      | Arduino              | 358.000          | 118    | 17.283       | 0     | 3      |
| Tecnológico      | Robótica educacional | 16.600           | 11     | 282          | 0     | 11     |
| Tecnológico      | Ensino de biologia   | 79.400           | 141    | 11.930       | 9     | 47     |
| Tecnológico      | Educação em ciências | 63.500           | 1596   | 262.167      | 37    | 2      |

|                        |                                        |         |     |       |   |    |
|------------------------|----------------------------------------|---------|-----|-------|---|----|
| Pedagógico             | Metodologias ativas                    | 14.900  | 206 | 3.902 | 5 | 65 |
| Pedagógico             | Aprendizagem ativa                     | 61.400  | 226 | 5.923 | 6 | 29 |
| Pedagógico             | Tecnologia educacional                 | 130.000 | 534 | 3.624 | 0 | 2  |
| Biológico              | Escorpião                              | 7.140   | 13  | 86    | 0 | 0  |
| Biológico              | Comportamento reprodutivo de escorpião | 403     | 0   | 0     | 0 | 0  |
| Biológico              | Escorpião e reprodução                 | 4.010   | 0   | 3     | 0 | 0  |
| Cruzamento (Seu Nicho) | Robótica e escorpião                   | 127     | 0   | 0     | 0 | 0  |

**Fonte:** Autoria própria (2025)

A análise dos dados quantificados permite as seguintes observações diretas:

1. **Saturação dos Eixos Tecnológico e Pedagógico:** Existe uma vasta produção acadêmica sobre o uso do Arduino e metodologias ativas, validando estas ferramentas como campos consolidados na investigação educacional contemporânea.
2. **Escassez no Eixo Biológico Específico:** Os termos relacionados à biologia reprodutiva de escorpiões apresentam números significativamente menores, com ausência total de registros em bases de alto rigor científico como SciELO e em anais de eventos nacionais (ENPEC e CONEDU).

3. **A Lacuna de Ineditismo (Cruzamento):** O cruzamento dos descritores "robótica" e "escorpião" revelou um resultado nulo (0) em todas as bases de dados científicas e anais de eventos. Embora o Google Acadêmico tenha retornado 127 resultados, a triagem manual evidenciou que nenhum destes trabalhos propunha um recurso didático com Arduino para o ensino de biologia, tratando-se, em sua maioria, de estudos de engenharia mecânica, biomimética ou robótica de exploração.

Estes resultados confirmam que, apesar da disponibilidade tecnológica e da relevância biológica do tema, não foram identificados modelos didáticos interativos desenvolvidos especificamente para o ensino da reprodução de escorpiões. Este "vácuo" literário valida a originalidade do protótipo apresentado a seguir e reforça a relevância desta pesquisa como uma contribuição inédita para a área.

## **6.2 ORGANIZAÇÃO DO CIRCUITO E MAPEAMENTO DOS COMPONENTES**

Nesta seção, descrevem-se os resultados práticos da construção do recurso didático, detalhando a configuração do hardware, as adaptações morfológicas e a lógica de funcionamento do sistema.

### **6.2.1 CONFIGURAÇÃO DO HARDWARE E MONTAGEM ELETRÔNICA**

O protótipo foi consolidado utilizando a plataforma Arduino Nano, integrada a uma Placa de Circuito Impresso (PCB) para garantir a estabilidade das conexões, imagens 2 e 3. A motorização foi composta por 12 servomotores SG90, distribuídos para permitir a articulação independente dos apêndices. A construção seguiu uma metodologia de melhorias sucessivas. Inicialmente, montou-se o circuito básico em *protoboard* com jumpers para validar a lógica de controle, Imagem 1.

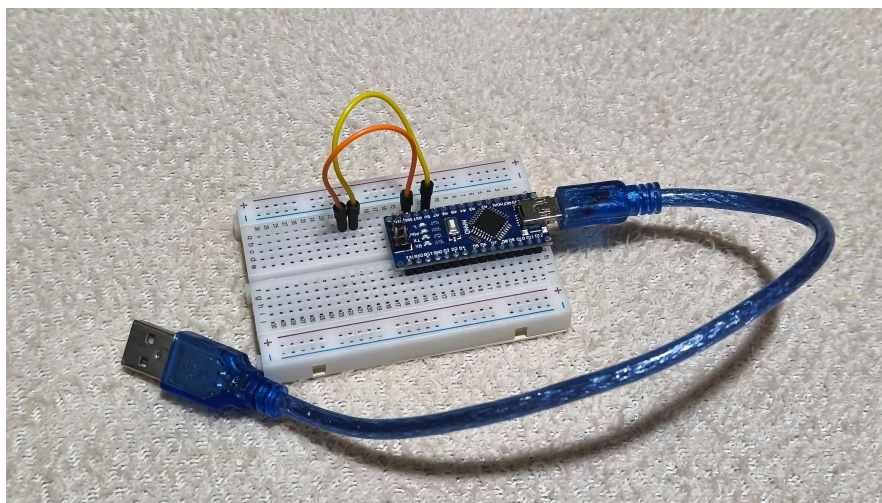
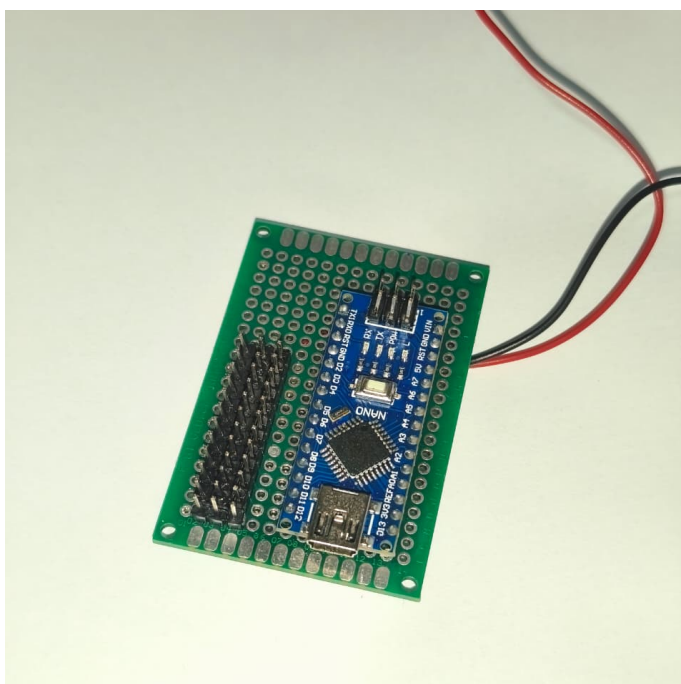
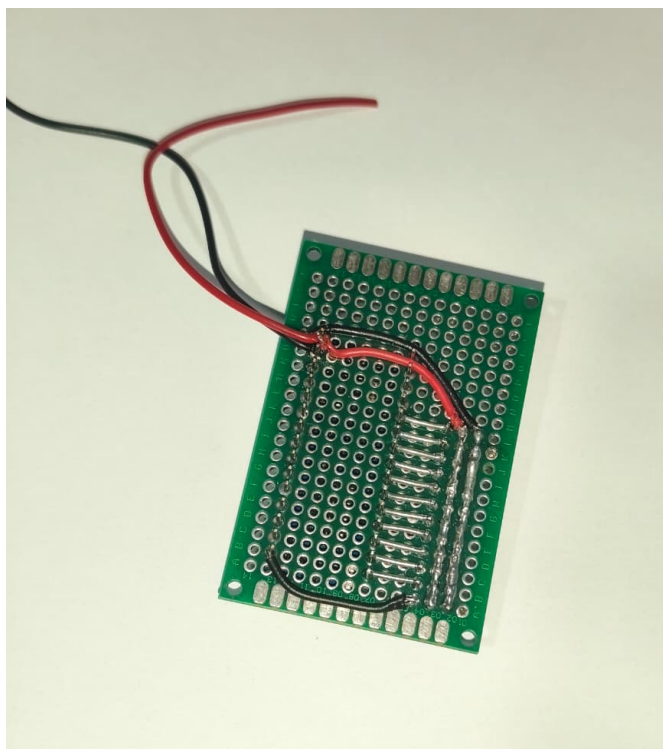


IMAGEM 1: Foto do Arduino Nano na protoboard com jumpers

Durante os testes iniciais, identificou-se a ocorrência de curtos-circuitos pela inserção acidental dos terminais de alimentação na mesma linha do *protoboard*, o que provocava o desligamento abrupto do microcontrolador. Além disso, a tentativa inicial de usar 1 bateria 18650 (3,7V) mostrou-se insuficiente para a carga dos 12 servos operando simultaneamente. A solução definitiva foi a soldagem permanente do Arduino Nano em PCB e o uso de 4 a 6 pilhas AA em série conectadas ao pino VIN, garantindo os 5V estáveis necessários para o funcionamento de todos os atuadores e a organização adequada dos fios.

Imagens 2 e 3: Foto do detalhe da PCB com o Arduino Nano soldado e organização dos fios.





### 6.2.2 ORGANIZAÇÃO DO CIRCUITO E MAPEAMENTO MATRICIAL

Para garantir uma organização sistemática e replicável, desenvolveu-se um mapeamento matricial baseado em posições fixas na PCB. A placa foi projetada com uma grade onde cada servomotor ocupa uma linha específica (A a L) com três conexões padronizadas: Coluna 2 (Terra/GND), Coluna 3 (Alimentação/+5V) e Coluna 4 (Sinal de controle).

Esta configuração permite uma correspondência direta entre a posição física do componente e o endereçamento lógico no código (Ex: Pino D2 controla a Linha A), facilitando a manutenção e a explicação pedagógica do sistema. O Arduino Nano foi soldado ocupando as colunas 07 e 13 (linhas B a P), permitindo uma distribuição equilibrada das conexões.

Tabela 2 : Mapeamento de Conexões dos Servomotores na PCB

| Servomotor | Linha | GND (Col 2) | +5V (Col 3) | Sinal Arduino (Col 4) |
|------------|-------|-------------|-------------|-----------------------|
| Servo 1    | A     | Coluna 2    | Coluna 3    | D2                    |
| Servo 2    | B     | Coluna 2    | Coluna 3    | D3                    |
| Servo 3    | C     | Coluna 2    | Coluna 3    | D4                    |
| Servo 4    | D     | Coluna 2    | Coluna 3    | D5                    |
| Servo 5    | E     | Coluna 2    | Coluna 3    | D6                    |
| Servo 6    | F     | Coluna 2    | Coluna 3    | D7                    |
| Servo 7    | G     | Coluna 2    | Coluna 3    | D8                    |
| Servo 8    | H     | Coluna 2    | Coluna 3    | D9                    |
| Servo 9    | I     | Coluna 2    | Coluna 3    | D10                   |
| Servo 10   | J     | Coluna 2    | Coluna 3    | D11                   |
| Servo 11   | K     | Coluna 2    | Coluna 3    | D12                   |
| Servo 12   | L     | Coluna 2    | Coluna 3    | D13                   |

**Fonte:** Autoria própria (2025).

As barras de energia foram implementadas como trilhas contínuas de GND e +5V, alimentadas pela fonte externa conectada ao pino VIN do Arduino. Esta configuração garante

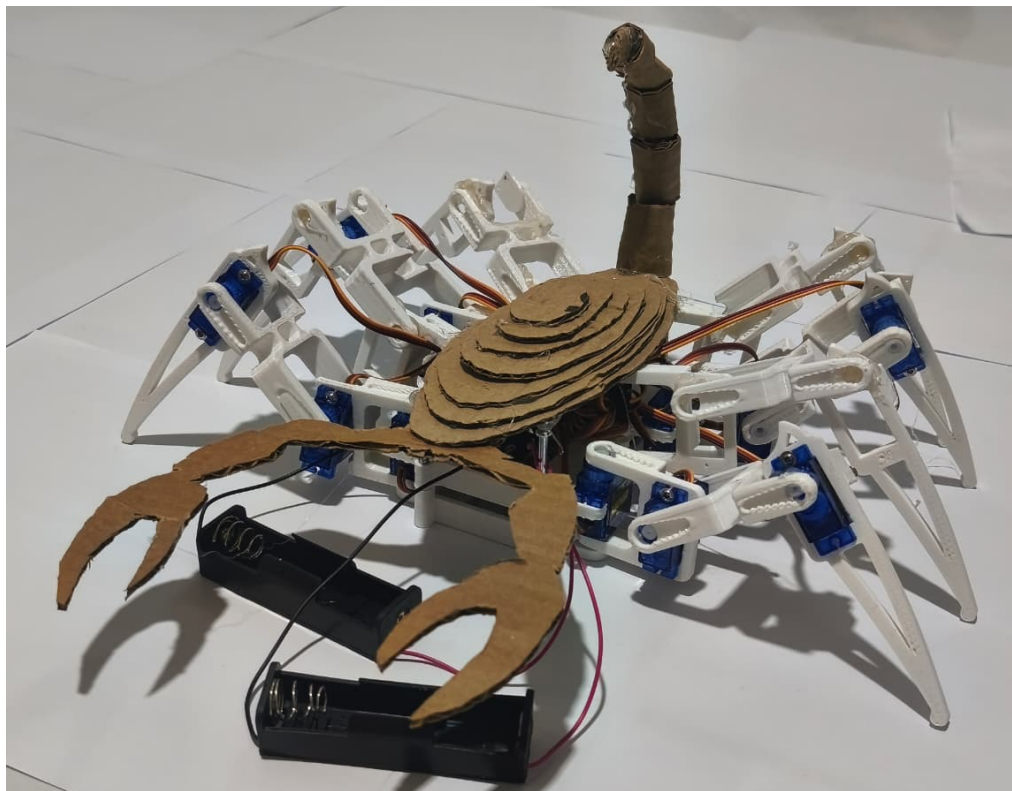
a robustez necessária para o uso educacional intensivo, eliminando o uso de *jumpers* convencionais que poderiam gerar mau contato.

### 6.2.3 ADAPTAÇÕES MORFOLÓGICAS: DA ARANHA AO ESCORPIÃO

A partir de um modelo base *open source*, foram implementadas modificações estruturais para garantir a fidelidade biológica necessária para o ensino de Zoologia:

- **Octopodia (8 pernas):** Expansão das extremidades articuladas para totalizar as oito pernas características dos aracnídeos.
- **Pedipalpos e Quelíceras:** Adição de pinças frontais, fundamentais para a simulação do contacto tátil e o "segurar das mãos" durante a dança nupcial.
- **Metassoma (Cauda) e Telson:** Modelagem e acoplagem da cauda articulada, elemento icônico para a demonstração da postura durante o acasalamento.

Figura 3 – Foto do protótipo final: visão superior e lateral do escorpião robótico completo



## 6.2.4 LÓGICA DE FUNCIONAMENTO E COMPORTAMENTO SIMULADO

O código programado no Arduino foi estruturado para executar uma sequência de movimentos que mimetizam as fases do ritual reprodutivo. O funcionamento segue a seguinte ordem lógica: Reconhecimento (movimentos exploratórios), Dança Nupcial (movimentos coordenados e vibração) e Acoplamento (aproximação e inclinação do corpo). A correspondência direta entre pinos e a matriz da placa permite um controle preciso e organizado de todos os servomotores.

QUADRO 2: Algoritmo desenvolvido com mapeamento específico dos componentes

```
// ===== CONFIGURAÇÃO =====

const int NUM_SERVOS = 12;

const int PINOS_SERVOS[NUM_SERVOS] = {2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,
12, 13};

// Pulsos em microssegundos

const int CENTRO = 1500; // 90 graus

const int ESQUERDA = 1000; // 0 graus

const int DIREITA = 2000; // 180 graus

// ===== SETUP =====

void setup() {

    // Configura todos os pinos como saída

    for (int i = 0; i < NUM_SERVOS; i++) {

        pinMode(PINOS_SERVOS[i], OUTPUT);
```

```

}

// LED interno indica início

pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);

delay(500);

digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);


// Aguarda 3 segundos para conectar baterias

delay(3000);


// Inicia o ritual

iniciarRitual();

}


// ===== FUNÇÕES DE CONTROLE
=====


// Envia pulso para TODOS os servos simultaneamente

void pulsarTodos(int duracaoMicros) {

    // Ativa todos os servos

```

```
for (int i = 0; i < NUM_SERVOS; i++) {  
  
    digitalWrite(PINOS_SERVOS[i], HIGH);  
  
}  
  
// Mantém o pulso  
  
delayMicroseconds(duracaoMicros);  
  
// Desativa todos  
  
for (int i = 0; i < NUM_SERVOS; i++) {  
  
    digitalWrite(PINOS_SERVOS[i], LOW);  
  
}  
  
// Período completo do servo (20ms = 50Hz)  
  
delay(20);  
  
}  
  
// Mantém uma posição por vários ciclos  
  
void manterPosicao(int duracaoMicros, int ciclos) {  
  
    for (int i = 0; i < ciclos; i++) {  
  
        pulsarTodos(duracaoMicros);  
  
    }  
  
}
```

```

    }

}

// Movimento alternado entre metades

void movimentoAlternado(int esqMicros, int dirMicros, int ciclos) {

    for (int c = 0; c < ciclos; c++) {

        // Primeira metade (servos 0-5)

        for (int i = 0; i < 6; i++) {

            digitalWrite(PINOS_SERVOS[i], HIGH);

        }

        delayMicroseconds(esqMicros);

        for (int i = 0; i < 6; i++) {

            digitalWrite(PINOS_SERVOS[i], LOW);

        }

        // Segunda metade (servos 6-11)

        for (int i = 6; i < NUM_SERVOS; i++) {

            digitalWrite(PINOS_SERVOS[i], HIGH);

        }

        delayMicroseconds(dirMicros);
    }
}

```

```

    for (int i = 6; i < NUM_SERVOS; i++) {

        digitalWrite(PINOS_SERVOS[i], LOW);

    }

    delay(20);

}

}

// ===== RITUAL COMPLETO =====

void iniciarRitual() {

    // FASE 1: PREPARAÇÃO (Centro)

    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);

    manterPosicao(CENTRO, 40); // 40 ciclos = ~0.8 segundos

    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);

    delay(300);

    // FASE 2: BUSCA (Movimentos exploratórios)

    for (int b = 0; b < 3; b++) {

        // Esquerda suave

        manterPosicao(ESQUERDA + 300, 15);

        // Direita suave

        manterPosicao(DIREITA - 300, 15);

        // Retorna ao centro

```

```

    manterPosicao(CENTRO, 10);

}

delay(400);

// FASE 3: DANÇA NUPCIAL

// Onda lateral

for (int pos = 1200; pos <= 1800; pos += 50) {

    manterPosicao(pos, 3);

}

// Vibração

for (int v = 0; v < 15; v++) {

    pulsarTodos(CENTRO + random(-100, 100));

}

// Movimento circular

for (int ang = 0; ang < 180; ang += 30) {

    for (int i = 0; i < NUM_SERVOS; i++) {

        int fase = (i * 30) % 180;

        int pulso = map((ang + fase) % 180, 0, 180, ESQUERDA, DIREITA);

        digitalWrite(PINOS_SERVOS[i], HIGH);

        delayMicroseconds(pulso);

        digitalWrite(PINOS_SERVOS[i], LOW);
    }
}

```

```

    }

    delay(20);

}

delay(500);

// FASE 4: ACOPLAMENTO

// Aproximação

for (int passo = 0; passo <= 50; passo++) {

    int esq = map(passo, 0, 50, CENTRO, ESQUERDA + 400);

    int dir = map(passo, 0, 50, CENTRO, DIREITA - 400);

    movimentoAlternado(esq, dir, 1);

}

// Manutenção

manterPosicao(CENTRO, 60); // 1.2 segundos

// Tremores finais

for (int t = 0; t < 10; t++) {

    pulsarTodos(CENTRO + random(-150, 150));

}

// FASE 5: CONCLUSÃO

// Retorno suave ao centro

for (int s = 0; s <= 20; s++) {

```

```

    int pulso = map(s, 0, 20, CENTRO - 200, CENTRO);

    manterPosicao(pulso, 2);

}

// Posição final de repouso

manterPosicao(CENTRO, 100); // 2 segundos

// LED indica fim

for (int i = 0; i < 5; i++) {

    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);

    delay(200);

    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);

    delay(200);

}

}

// ===== LOOP =====

void loop() {

    // Não faz nada após terminar

}

```

### 6.3 PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Como resultado da análise técnico-pedagógica e do desenvolvimento do protótipo, elaborou-se uma proposta de intervenção educativa. Esta sequência foi desenhada para mediar o ensino de Zoologia, utilizando o escorpião robótico como um objeto de transição entre a teoria bibliográfica e a observação de processos biológicos complexos. A proposta

está estruturada em três etapas fundamentais, pensadas para serem aplicadas em contexto de sala de aula:

### 6.3.1 ETAPA I: PROBLEMATIZAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

Esta fase inicial foca na desmistificação do animal e no levantamento de conhecimentos prévios dos estudantes.

- **Atividade:** Discussão mediada sobre a reprodução de aracnídeos e os desafios de sobrevivência.
- **Foco:** Diferenciar o escorpião como apenas um agente de acidentes de saúde pública do escorpião como um organismo biológico dotado de comportamentos reprodutivos sofisticados. É o momento de despertar a curiosidade através da "pergunta insistente", como citado na introdução.

### 6.3.2 ETAPA II: DEMONSTRAÇÃO E INTERAÇÃO COM O PROTÓTIPO

Nesta etapa, o recurso tecnológico é introduzido para materializar os conceitos discutidos. O robô atua como um simulador físico do comportamento, facilitando a visualização do que seria difícil observar na natureza.

- **Execução da "dança nupcial" programada no Arduino:** O professor demonstra, através do movimento coordenado dos servomotores, o contato dos pedipalpos e a condução da fêmea pelo macho (*promenade à deux*).
- **Demonstração Técnica:** Visualização da postura do animal para a deposição do espermatóforo, permitindo que os alunos identifiquem a morfologia externa (telson, metassoma e pernas) em movimento real e coordenado, conforme a lógica programada no microcontrolador.

### 6.3.3 ETAPA III: SISTEMATIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO

O momento final serve para consolidar o aprendizado e refletir sobre a representação tecnológica da realidade biológica através de atividades de síntese.

- **Atividade Sugerida:** Elaboração de um esquema comparativo ou mapa conceitual onde os alunos devem relacionar os componentes do robô (servomotores, fiação e estrutura) com as funções biológicas reais (músculos, sistema nervoso e exoesqueleto).

- **Resultado Esperado:** Compreensão da transferência indireta de esperma e da importância evolutiva dos rituais de acasalamento, concluindo a transposição didática do conteúdo biológico por meio da simulação robótica e do mapeamento lógico dos componentes.

## **7. DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos neste trabalho são analisados a partir de uma abordagem qualitativa, de natureza interpretativa, cujo foco recai sobre o processo de desenvolvimento do protótipo didático e sobre seu potencial pedagógico no ensino de conteúdos biológicos. Não se busca, portanto, a generalização estatística dos achados, mas sim a compreensão aprofundada das experiências vivenciadas durante a construção e validação do recurso, à luz do referencial teórico que fundamenta a pesquisa. Nesse sentido, a discussão articula os resultados observados com contribuições de autores das áreas da educação, ensino de ciências e tecnologias educacionais, permitindo interpretar o processo de prototipagem como uma experiência formativa e ativa, tanto do ponto de vista pedagógico quanto epistemológico.

### **7.1 O PROCESSO DE PROTOTIPAGEM SOB A ÓTICA CONECTIVISTA E DA CIBERCULTURA**

A trajetória de desenvolvimento do protótipo materializa o princípio do "aprender fazendo", mas, acima de tudo, exemplifica a aprendizagem na era digital. À luz do Conectivismo (SIEMENS, 2004), compreende-se que o conhecimento produzido neste trabalho emerge das conexões estabelecidas entre "nós" ou fontes de informação especializadas: a Zoologia (comportamento animal), a Engenharia (robótica) e a Pedagogia (transposição didática).

Esta perspectiva conecta-se diretamente à teoria da Ciber cultura de Pierre Lévy (1999). Para Lévy, a técnica não é um instrumento isolado, mas uma extensão da capacidade humana de criar e partilhar conhecimento através da Inteligência Coletiva. No desenvolvimento deste escorpião robótico, a inteligência coletiva manifestou-se no uso de plataformas de código aberto (*open source*) e na interação com comunidades globais de desenvolvedores Arduino. A pesquisadora não precisou reinventar a eletrônica, mas sim "conectar" esse saber global a uma finalidade pedagógica local e específica.

Assim, o protótipo atua como um mediador que potencializa a simulação da realidade. Sob a ótica de Lévy, a tecnologia permite a desterritorialização do saber: o conhecimento sobre o ritual de acasalamento do escorpião deixa de estar restrito aos livros de zoologia e passa a habitar um ambiente técnico-pedagógico interativo e concreto.

Este projeto, portanto, não se encerra como um produto finalizado, mas como uma proposta aberta e em rede, passível de novas conexões, adaptações e aprimoramentos em futuros contextos educativos. Esta abordagem justifica por que a presente investigação priorizou a validação do artefato e a sua fundamentação teórica, estabelecendo as bases necessárias para que pesquisas futuras realizem a aplicação empírica em sala de aula.

## **7.2. O PLANEJAMENTO ENERGÉTICO COMO ELEMENTO PEDAGÓGICO**

O desafio energético enfrentado durante a prototipagem revela mais do que uma limitação técnica; ele materializa o princípio vygotskyano da Zona de Desenvolvimento Proximal aplicado ao professor. Conforme Moura e Soares (2018, p. 134), a incompatibilidade de tensão (3,7V vs 4,8-6V) tornou-se um objeto de aprendizagem que permitiu discutir conceitos físicos de forma contextualizada, transformando o erro em elemento estruturante da aprendizagem (PAPERT, 1980).

A incompatibilidade entre a tensão fornecida pela bateria 18650 (3,7 V) e a exigida pelos servomotores SG90 (4,8–6 V) constituiu-se em um objeto de aprendizagem em si, possibilitando a discussão contextualizada de conceitos de física, como tensão, corrente e potência. Essa experiência reforça o argumento de Blikstein (2013), ao demonstrar como a prototipagem eletrônica permite tornar visíveis os princípios científicos subjacentes aos dispositivos tecnológicos do cotidiano.

Nesse contexto, o erro deixou de ser compreendido como falha e passou a ser interpretado como elemento estruturante da aprendizagem, conforme defendem Papert (1980) e Resnick (2017), evidenciando o potencial pedagógico do enfrentamento consciente de problemas reais. Esses desafios evidenciam um princípio fundamental para a integração de tecnologias na educação, destacado por Moura e Soares (2018): a necessidade de formar educadores capazes de compreender, diagnosticar e intervir criticamente sobre as ferramentas tecnológicas que utilizam. Essa superação técnica contribui para o objetivo específico 2, ao assegurar a viabilidade e acessibilidade do protótipo para uso em ambiente escolar.

## **7.3. A TRADUÇÃO ALGORÍTMICA DO COMPORTAMENTO BIOLÓGICO**

A conversão do ritual reprodutivo dos escorpiões em uma sequência lógico-computacional constitui o principal produto intelectual deste trabalho e revela um potente mecanismo de mediação intersemiótica. Ao transformar uma descrição biológica

narrativa, tradicionalmente apresentada de forma estática em livros didáticos, em um algoritmo dinâmico e executável, o protótipo opera uma tradução entre sistemas semióticos distintos: da linguagem científica descritiva para a linguagem computacional procedural.

Essa materialização responde diretamente à crítica de Krasilchik (2008) sobre o ensino de Biologia baseado na memorização de etapas desconectadas. Através do algoritmo, os estudantes podem visualizar relações de causa e efeito entre estímulos (feromônios, contato tátil) e comportamentos (busca, dança nupcial, acoplamento), compreendendo o processo em sua dinâmica temporal e lógica interna. Tal abordagem favorece o entendimento da complexidade dos fenômenos biológicos (MORIN, 2015), que raramente se reduzem a sequências lineares simplificadas.

Interessante notar que, mesmo quando a execução física do movimento encontra limitações técnicas (como nos desafios de alimentação energética), o código permanece como um artefato discursivo (HAREL & PAPERT, 1991) plenamente válido para discussão em sala de aula. A estrutura algorítmica, com suas funções, condicionais e repetições, torna-se um objeto concreto para se discutir como padrões comportamentais naturais podem ser representados através do pensamento computacional. Essa articulação entre biologia e programação exemplifica o tipo de integração interdisciplinar defendida pelas abordagens STEM (BLIKSTEIN, 2013), na qual conceitos de diferentes áreas se iluminam mutuamente.

#### **7.4. SUSTENTABILIDADE, ACESSIBILIDADE E A PEDAGOGIA DO ERRO**

A escolha inicial por componentes reciclados, como baterias provenientes de notebooks em desuso, reflete uma preocupação com a sustentabilidade e a viabilidade econômica, aspectos relevantes em contextos educacionais públicos com recursos limitados (SILVA et al., 2014). Entretanto, a instabilidade desses componentes evidenciou o desafio de equilibrar baixo custo e confiabilidade técnica.

Esse dilema foi incorporado de forma consciente à proposta pedagógica. Em consonância com Freire (1996), as dificuldades não foram ocultadas, mas problematizadas, tornando-se temas geradores de reflexão. Questões como planejamento de recursos, manutenção de equipamentos e tomada de decisões técnicas passaram a integrar o processo educativo, estimulando a postura investigativa dos envolvidos (BYBEE, 1997; HODSON, 2014). Essa abordagem transforma o próprio processo de desenvolvimento em um caso de

ensino, útil para discutir com futuros professores as realidades e limitações da escola pública brasileira.

## **7.5.INTERDISCIPLINARIDADE E PENSAMENTO SISTÊMICO**

A organização matricial da PCB e seu mapeamento direto no código constituem uma metáfora cognitiva potente para o desenvolvimento do pensamento sistêmico. Conforme apontam Nemirovsky et al. (2013), a transposição de conceitos entre diferentes representações favorece a alfabetização científica e tecnológica.

No contexto deste projeto, observou-se a articulação entre:

1. **Biologia:** comportamento reprodutivo dos escorpiões;
2. **Computação:** lógica algorítmica;
3. **Eletrônica/Física:** funcionamento do circuito;
4. **Matemática:** organização espacial e ângulos de movimento.

Essa integração contribui para a superação da fragmentação disciplinar e favorece a construção do conhecimento em rede, conforme proposto pelo pensamento complexo (MORIN, 2015). A articulação entre conhecimento biológico, decisões pedagógicas e recursos tecnológicos exemplifica ainda o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) proposto por Shulman (1986, 1987), expandido para incluir a dimensão tecnológica (TPACK).

## **7.6. A MONTAGEM FÍSICA COMO PERCURSO INVESTIGATIVO**

A experiência de prototipagem relatada evidencia que, para além dos componentes técnicos propriamente ditos, o planejamento das conexões e a escolha da metodologia de montagem são decisivos para o sucesso de um projeto pedagógico com Arduino. A opção por soldar o Arduino Nano em PCB com barra de pinos macho, em vez de usar jumpers soltos, reflete uma decisão pedagógica e técnica consciente.

Ao enfrentar os curtos-circuitos, identificou-se que o problema não era apenas elétrico, mas também organizacional. Conforme Martins et al. (2019), a clareza na disposição dos componentes em uma PCB facilita não apenas a manutenção, mas também o entendimento do sistema por parte dos alunos, transformando o circuito em um mapa legível

da lógica do projeto. Essa organização se torna um mediador visual que apoia a compreensão dos princípios de controle e da relação entre software e hardware.

O teste com apenas um servo antes da integração completa, além de uma boa prática de prototipagem, ilustra o conceito de complexidade incremental, proposto por Resnick (2017) como estratégia educativa para evitar a frustração e promover a confiança dos aprendizes. O erro no posicionamento dos jumpers de alimentação na protoboard tornou-se um caso de ensino, útil para discutir em sala de aula conceitos básicos de eletricidade como circuito fechado, curto e polaridade.

Assim, a própria montagem e suas etapas de correção constituem um percurso pedagógico completo: da identificação de um problema real à investigação das causas, testagem de hipóteses e implementação de uma solução estável. Esse percurso investigativo materializa na prática o ciclo de aprendizagem baseado em projetos defendido por Bell (2010), demonstrando que o valor pedagógico do Arduino reside não apenas no produto final, mas no processo de investigação mediado por erros e correções.

## **7.7. POTENCIAL PEDAGÓGICO DA CONFIGURAÇÃO DESENVOLVIDA**

A configuração final do protótipo, com sua organização matricial e mapeamento lógico, transcende sua função técnica para assumir um potencial pedagógico multifacetado. Segundo Blikstein (2013), a clareza estrutural de um artefato tecnológico é um facilitador cognitivo, pois reduz a carga de processamento incidental e permite ao aprendiz focar nos conceitos essenciais.

A organização dos servos em linhas e colunas com pinos fixos opera como uma interface tangível entre o algoritmo e o comportamento biológico simulado. Cada linha (A–L) corresponde a um pino digital (D2–D13) e a uma função no ritual de acasalamento. Essa correspondência direta permite que os alunos visualizem a tradução de uma sequência comportamental complexa (biologia) em uma sequência lógico-computacional (programação), materializando a interdisciplinaridade entre biologia, tecnologia e pensamento computacional.

Além disso, a solução de alimentação com pilhas em série conectadas ao VIN do Arduino, que resolveu o problema de tensão insuficiente, constitui um caso real de aplicação de conceitos de física (tensão, corrente, regulação). Esse aspecto reforça o argumento de

Moura e Soares (2018) de que o trabalho com plataformas como o Arduino pode servir como contexto integrador para o ensino de STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática).

Por fim, a robustez da montagem com soldagem direta e PCB customizada assegura a durabilidade e confiabilidade necessárias para o uso em ambientes escolares, onde o manuseio por múltiplos estudantes é frequente. Essa característica é essencial para a viabilidade de replicação do recurso em diferentes contextos educacionais, alinhando-se ao princípio de acessibilidade e baixo custo que norteou o projeto desde sua concepção (SILVA et al., 2014). As características de robustez e clareza estrutural aqui descritas atendem ao objetivo específico 4, ao oferecer um recurso replicável e adaptável a diferentes contextos educacionais.

## **7.8. LIMITAÇÕES COMO FONTES DE NOVAS QUESTÕES INVESTIGATIVAS**

As limitações técnicas enfrentadas, especialmente aquelas relacionadas ao fornecimento de energia, não representam fragilidades metodológicas, mas elementos constitutivos da pesquisa qualitativa. Elas abriram espaço para novas questões investigativas, como o dimensionamento energético de múltiplos atuadores e a viabilidade de fontes alternativas de baixo custo.

Essa postura transforma o projeto em um ponto de partida para ciclos futuros de aprendizagem baseada em projetos (BELL, 2010), reforçando a compreensão do ensino de ciências como um processo contínuo de investigação. À luz do conectivismo (SIEMENS, 2004), essas limitações não configuram falhas, mas nós em uma rede de aprendizagem que podem ser desafiados e reconfigurados em futuras iterações do projeto.

## **7.9. SÍNTESE INTEGRADORA**

A análise realizada confirma o atendimento aos objetivos propostos, ao articular consistentemente os achados da prototipagem com o referencial teórico adotado. O desenvolvimento do protótipo evidenciou princípios da aprendizagem ativa e do construcionismo (HAREL & PAPERT, 1991). Os desafios técnicos reforçaram a importância da mediação consciente das tecnologias (MOURA & SOARES, 2018), enquanto o potencial pedagógico do artefato demonstra sua capacidade de atuar como mediador na ZDP (VYGOTSKY, 1978).

Assim, o trabalho contribui para a democratização do acesso à tecnologia educacional criativa (BLIKSTEIN, 2013) e para a formação de uma postura investigativa em docentes e discentes (FREIRE, 1996). Mais do que apresentar um produto final, esta pesquisa oferece um modelo metodológico para a integração crítica e criativa de plataformas de prototipagem eletrônica no ensino de conteúdos biológicos complexos, evidenciando como os desafios da materialização tecnológica podem catalisar aprendizagens profundas, interdisciplinares e ativas.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou que a integração da plataforma Arduino no ensino de Ciências é viável e apresenta significativo potencial pedagógico, desde que acompanhada de uma postura investigativa, flexível e reflexiva frente aos desafios técnicos inerentes à prototipagem eletrônica. O desenvolvimento do protótipo didático, desde sua concepção algorítmica até sua materialização física, configurou-se como um processo formativo que articulou conhecimentos de biologia, tecnologia e pedagogia.

A experiência evidenciou que a construção de recursos didáticos tecnológicos não se limita ao domínio prévio de conteúdos técnicos, mas exige do educador disposição para aprender no percurso, problematizar erros e transformar dificuldades em oportunidades pedagógicas. Questões como a incompatibilidade de tensão entre componentes, instabilidade de conexões e necessidade de reconfiguração do circuito contribuíram para a compreensão prática de conceitos científicos e tecnológicos, reforçando o caráter investigativo da proposta.

Do ponto de vista pedagógico, o projeto revelou que o valor educativo do protótipo não reside exclusivamente em seu funcionamento ideal, mas principalmente no processo de investigação que o sustenta. Conforme discutido ao longo do trabalho, os erros, ajustes e reformulações constituem elementos centrais da aprendizagem ativa, alinhando-se à perspectiva construcionista e às metodologias ativas, nas quais o conhecimento é construído por meio da experimentação e da reflexão crítica.

A adoção de soluções técnicas mais robustas, como o uso de barra de pinos macho soldados e a segregação das fontes de alimentação, contribuiu para a estabilidade do protótipo e evidenciou boas práticas em projetos educacionais que envolvem uso contínuo e manipulação por estudantes. Essas escolhas reforçam a importância do planejamento técnico como parte integrante da proposta pedagógica, especialmente em contextos escolares.

À luz do conectivismo (SIEMENS, 2004), compreende-se que o conhecimento produzido neste trabalho emerge das conexões estabelecidas entre diferentes áreas do saber, entre teoria e prática, e entre os próprios desafios enfrentados durante o desenvolvimento. Assim, este projeto não se encerra como um produto finalizado, mas como uma proposta aberta, passível de adaptações, aprimoramentos e aplicações em diferentes contextos educativos.

Conclui-se, portanto, que mais do que um artefato tecnológico funcional, este trabalho oferece um modelo metodológico para a integração crítica e criativa de plataformas de prototipagem eletrônica no ensino de conteúdos biológicos complexos, evidenciando como os desafios da materialização tecnológica podem catalisar aprendizagens profundas, interdisciplinares e aivas.

## 9. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- AINSWORTH, S. The functions of multiple representations. **Computers & Education**, v. 33, n. 2-3, p. 131-152, 1999.
- AMADO, T. F. et al. Vulnerable areas to accidents with scorpions in Brazil. **Tropical Medicine and International Health**, v. 26, n. 5, p. 591–601, 2021.
- AMUNDRUD, S. L. et al. Dispersal barriers and climate determine the geographic distribution of the helicopter damselfly *Mecistogaster modesta*. **Freshwater biology**, v. 63, n. 2, p. 214-223, 2018.
- AUSUBEL, D. P. **Educational Psychology: A Cognitive View**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- BANZI, M.; SHILOH, M. **Make: getting started with Arduino**. 3. ed. USA: Maker Media, Inc., 2014. Disponível em: [https://www.esc19.net/cms/lib/TX01933775/Centricity/Domain/110/make\\_gettingstartedwith\\_arduino\\_3rdedition.pdf](https://www.esc19.net/cms/lib/TX01933775/Centricity/Domain/110/make_gettingstartedwith_arduino_3rdedition.pdf). Acesso em: 02 jul. 2025.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BELL, S. Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future. **The Clearing House**, v. 83, n. 2, p. 39-43, 2010.
- BENTON, T. G. **Scorpion biology and research**. Oxford: Oxford University Press, 2001.
- BLIKSTEIN, P. Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention. **FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors**, p. 1-21, 2013.
- BRANSFORD, J. D.; BROWN, A. L.; COCKING, R. R. (Eds.). **How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School**. Washington, DC: National Academy Press, 2000.
- BRUNER, J. S. **The Culture of Education**. Cambridge: Harvard University Press, 1996.
- CARNEIRO, R. Aprender e Educar no Século XXI. **Revista Brasileira De Política E Administração Da Educação**, v. 21, n. 1 e 2, 2011.
- DE JONG, T.; LINN, M. C.; ZACHARIA, Z. C. Physical and virtual laboratories in science and engineering education. **Science**, v. 340, n. 6130, p. 305-308, 2013.
- ERTMER, P. A.; OTTENBREIT-LEFTWICH, A. T. Teacher Technology Change: How Knowledge, Confidence, Beliefs, and Culture Intersect. **Journal of Research on Technology in Education**, v. 42, n. 3, p. 255-284, 2010.
- FREEMAN, S. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 23, p. 8410-8415, 2014.
- FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 34. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996.

GARDNER, H. **Multiple intelligences: The theory in practice**. New York: Basic Books, 1993.

GUIMARÃES, E. A. et al. **Entre letras e sentidos, a leitura como prática transformadora**. 2025. Disponível em: [link do arquivo]. Acesso em: 02 jul. 2025.

HAREL, I.; PAPERT, S. **Constructionism**. Norwood: Ablex Publishing, 1991.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de biologia**. 4. ed. rev. e ampl. São Paulo: EDUSP, 2008.

LAGE, M. J.; PLATT, G. J.; TREGLIA, M. Inverting the Classroom: A Gateway to Creating an Inclusive Learning Environment. **The Journal of Economic Education**, v. 31, n. 1, p. 30-43, 2000.

LAURILLARD, D. **Teaching as a design science: Building pedagogical patterns for learning and technology**. New York: Routledge, 2012.

LAVE, J.; WENGER, E. **Situated learning: Legitimate peripheral participation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 1999.

MAGRIN, C. E. et al. Promovendo a aprendizagem da robótica nas escolas com metodologias ativas. In: **Anais do XIII Computer on the Beach**. Itajaí, SC, 2022.

MARTINS, T. et al. Uso do Arduino como ferramenta didática no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, e20190062, 2019.

MASSETTO, M. T. Mediação pedagógica e o uso da tecnologia. In: MORAN, J. M.; MASETTO, M. T.; BEHRENS, M. A. (Orgs.). **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 21. ed. Campinas: Papirus, 2012.

MEGID NETO, J. **Tendências da pesquisa acadêmica sobre o ensino de ciências no nível fundamental**. 1999. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Educação, UNICAMP, Campinas, 1999.

MENDONÇA, M. A. **História da educação: fundamentos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

MITRE, S. M. et al. Metodologias ativas de ensino-aprendizagem na formação profissional em saúde: debates atuais. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 13, p. 2133-2144, 2008.

MORIN, E. **Ensinar a viver: manifesto para mudar a educação**. Porto Alegre: Sulina, 2015.

MOURA, F. R.; SOARES, M. M. Formação docente para o uso do Arduino no ensino de ciências: desafios e possibilidades. **Educação em Revista**, v. 34, n. 3, p. 123-145, 2018.

MOURA, M. Tecnologias digitais na educação: reflexões sobre o impacto das TICs no processo ensino-aprendizagem. **Revista Educação e Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 11-22, 2010.

- NEMIROVSKY, R. et al. Body activity and imagination in the learning of mathematics. In: ENGLISH, L. D. (Ed.). **Handbook of international research in mathematics education**. 2. ed. New York: Routledge, 2013.
- POLIS, G. A.; SISSOM, W. D. Life history. In: POLIS, G. A. (Ed.). **The biology of scorpions**. Stanford: Stanford University Press, 1990.
- POSTMAN, N. **Technopoly: The surrender of culture to technology**. New York: Vintage Books, 1993.
- PRENSKY, M. Digital Natives, Digital Immigrants. **On the Horizon**, v. 9, n. 5, p. 1-6, 2001.
- RESNICK, M. et al. Scratch: Programming for All. **Communications of the ACM**, v. 52, n. 11, p. 60-67, 2009.
- ROMERO, L. et al. Learning outcomes in STEM education using Arduino-based projects. **International Journal of Engineering Education**, v. 36, n. 2, p. 642-653, 2020.
- SHULMAN, L. S. Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.
- SHULMAN, L. S. Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. **Harvard Educational Review**, v. 57, n. 1, p. 1-22, 1987.
- SIEMENS, G. **Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age**. 2004. Disponível em: [www.elearnspace.org/Articles/connectivism.htm](http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism.htm). Acesso em: 02 jul. 2025.
- SILVA, A. B.; LINS, H. F.; LEÃO, M. F. Metodologia de revisão sistemática da literatura em educação: procedimentos e análise. **Educação em Revista**, v. 31, n. 3, p. 45-68, 2015.
- SILVA, C. M. S. et al. O Arduino como Ferramenta Didática no Estudo da Termodinâmica no Ensino Médio. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 26, n. 2, p. 165-170, 2025.
- SILVA, M. P.; BARBOSA, F. C. Matemática e Física em experiências de Robótica Livre: explorando o sensor ultrassônico. **Texto Livre**, v. 14, n. 3, p. e29629, 2021.
- SILVA, R. S.; LEITE, M. A. Desenvolvimento de habilidades através da plataforma Arduino na educação básica. **Tecnologia na Educação**, v. 22, n. 2, p. 89-105, 2017.
- SOBREIRA, P. G.; VIVEIRO, A. A.; D'ABREU, J. V. V. O uso do Arduino no ensino de ciências: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 3, p. 1-18, 2016.
- VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1978.
- VYGOTSKY, L. S. **Thought and Language**. Cambridge: MIT Press, 1991.
- ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.