

Urban Ecology and Socio-Environmental problematization: contributions to scientific literacy

Ecologia Urbana, problematização socioambiental e alfabetização científica: análise de uma sequência de ensino investigativo no ensino médio

SOUZA, Cláudio Roberto Azevedo de⁽¹⁾; SOUSA, Patrícia Maria Tenório de⁽²⁾; SANTOS, Eloisa⁽³⁾; PEREIRA, Débora Gabrielle Rosa da Silva⁽⁴⁾; SILVA, José Crisólogo de Sales⁽⁵⁾; Cesar Auguste Badji⁽⁶⁾

⁽¹⁾  0000-0003-1506-0375. Secretaria de Educação do Estado de Pernambuco. Garanhuns, PE, Brasil. clauzzius@gmail.com.br

⁽²⁾  0000-0000-0000-0000; Universidade de Pernambuco. Garanhuns, PE, Brasil. patricia.tenorio@upe.com.br

⁽³⁾  0000-0002-5664-7052. Secretaria de Educação do Estado de Pernambuco. Garanhuns, PE, Brasil. elo.santos@hotmail.com

⁽⁴⁾  0000-0002-5521-321X; Universidade Estadual de Alagoas. Arapiraca, (AL), Brasil. rdeborai98@gmail.com

⁽⁵⁾  0000-0001-8687-0952; Universidade Estadual de Alagoas, Santana do Ipanema, (AL), Brasil. jose.crisologo@uneal.edu.br

⁽⁶⁾  0000-0001-8082-3784; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco. Garanhuns, Pernambuco (PE), Brasil. cesar.badji@ufape.edu.br
O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

ABSTRACT

This study investigates how an Inquiry-Based Teaching Sequence (IBTS) in the context of urban ecology, integrating field investigation and critical analysis of socio-environmental media, mobilizes epistemic practices and fosters scientific literacy in secondary education. The study adopted an interpretative, mixed-methods approach and involved 26 students from a public school in Garanhuns, Pernambuco, Brazil. The central research question addressed in what ways the IBTS – combining quantitative field ecological investigation with analysis of a documentary on eucalyptus monocultures – promoted epistemic practices related to evidence interpretation, argumentation, and the construction of scientific explanations. Data sources included field records, phytosociological tables, concept maps, and argumentative texts, analyzed through descriptive statistics and qualitative examination of student productions. Results indicate differences in species richness and floristic composition between the investigated areas, alongside a predominance of intermediate and advanced performance levels in tasks involving data interpretation, conceptual integration, and evidence-based argumentation. The findings suggest that scientific literacy develops as a gradual, non-linear process characterized by the integration of empirical data, multimodal representations, and socio-environmental discussion. Combining field inquiry with socio-environmental media analysis enabled the circulation and recontextualization of evidence across different representational and discursive domains, supporting students' engagement with socio-environmental problematization and scientific reasoning. The study concludes that the IBTS promotes epistemic practices in science education – particularly data interpretation and scientific argumentation – and highlights the relevance of sustained inquiry-based approaches that integrate multimodal evidence in urban ecology teaching.

RESUMO

Este estudo investiga de que formas uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI) no contexto da ecologia urbana, articulando investigação de campo e análise crítica de mídia socioambiental, mobiliza práticas epistêmicas e promove a alfabetização científica no Ensino Médio. A pesquisa, de natureza interpretativa e métodos mistos, envolveu 26 estudantes de uma escola pública em Garanhuns, Pernambuco, Brasil. A questão central de pesquisa investigou de que maneiras a SEI – combinando investigação ecológica quantitativa em campo com a análise de um documentário sobre monoculturas de eucalipto – promoveu práticas epistêmicas relacionadas à interpretação de evidências, à argumentação e à construção de explicações científicas. Os dados foram constituídos por registros de campo, tabelas fitossociológicas, mapas mentais e textos argumentativos, analisados por estatística descritiva e análise qualitativa das produções estudantis. Os resultados indicam diferenças nos padrões de riqueza e composição florística entre as áreas investigadas, além de predominância de desempenhos intermediários e avançados nas atividades de interpretação de dados, integração conceitual e argumentação baseada em evidências. Observa-se que a alfabetização científica se desenvolve de forma gradual e não linear, marcada pela articulação entre dados empíricos, representações multimodais e discussões socioambientais. A integração entre investigação de campo e análise de mídia favoreceu a circulação e a recontextualização de evidências em diferentes domínios representacionais e discursivos. Conclui-se que a SEI promove práticas epistêmicas em Ciências, especialmente interpretação de dados e argumentação científica, reforçando a importância de abordagens investigativas contextualizadas e contínuas no ensino de Ecologia.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo:

Submetido: 26/03/2026

Aprovado: 12/07/2026

Publicação: 14/07/2026



Keywords:

Inquiry-Based learning, scientific literacy, urban ecology, socioscientific issues, epistemic practices

Palavras-Chave:

Ensino por investigação, alfabetização científica, ecologia urbana, questões sociocientíficas, práticas epistêmicas

Introdução

O ensino de Biologia na educação básica enfrenta um desafio estrutural persistente: a predominância de abordagens expositivas e descontextualizadas, que dissociam o conteúdo científico das experiências vividas pelos estudantes e dos problemas socioambientais de seu entorno. No campo da Ecologia, essa dissociação é particularmente limitante, pois impede que os fenômenos ecológicos sejam compreendidos em sua complexidade relacional — não como objetos de descrição, mas como processos situados em territórios concretos, atravessados por tensões sociais, históricas e ambientais (El-Hani & Bizzo, 2002; Carvalho, 2013).

A superação dessa fragmentação exige abordagens que integrem, de forma coerente, investigação empírica, construção conceitual e problematização sociocientífica. O Ensino por Investigação (EnI) tem sido discutido como perspectiva pedagógica capaz de aproximar a aprendizagem escolar das práticas epistêmicas da ciência, promovendo competências como interpretação de dados, formulação de hipóteses, argumentação baseada em evidências e tomada de decisões fundamentadas (Azevedo, 2004; Carvalho, 2013; Sasseron, 2015). Mais do que uma metodologia, o EnI constitui um modo de organizar o ensino para que os estudantes participem ativamente da construção de explicações científicas, em vez de simplesmente recebê-las prontas.

Essa participação ativa é o que a literatura denomina alfabetização científica (AC) — compreendida aqui não como domínio de vocabulário técnico, mas como capacidade de ler, interpretar, produzir e avaliar discursos baseados em evidências em diferentes contextos sociais (Norris & Phillips, 2003; Sasseron & Carvalho, 2011). Sasseron e Carvalho (2011) propõem que a AC pode ser compreendida a partir de três eixos estruturantes: compreensão dos conceitos científicos, compreensão da natureza da ciência e compreensão das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Em perspectiva mais ampla, a AC envolve ainda o desenvolvimento de posicionamentos críticos diante de questões sociocientíficas — problemas nos quais ciência, tecnologia, sociedade e ambiente se entrelaçam de modo indissociável (Hodson, 2014). Compreendida dessa forma, a AC não é um destino fixo, mas um processo gradual, dependente de condições pedagógicas específicas e de contextos de aprendizagem que ofereçam problemas reais a investigar.

O desenvolvimento da alfabetização científica no contexto da Ecologia requer, em particular, ambientes de aprendizagem nos quais os estudantes possam produzir e interpretar dados empíricos sobre fenômenos concretos. Os espaços verdes urbanos cumprem essa condição de modo pedagogicamente singular: permitem articular observação empírica direta, interpretação de padrões ecológicos e questões socioambientais locais — reunindo, em um mesmo espaço físico, dados concretos, conceitos científicos e problemas sociais (Araujo,

Santana & Franzolin, 2023). Quando esses ambientes carregam uma história de uso do solo, de introdução de espécies exóticas e de conflitos em torno dos recursos naturais, seu potencial educativo se amplia consideravelmente, pois os estudantes podem investigar não apenas padrões ecológicos, mas também as condições sociais e históricas que os produziram.

É precisamente nesse contexto que o Parque Municipal Euclides Dourado, em Garanhuns, PE — conhecido localmente como Parque dos Eucaliptos — se torna um espaço pedagogicamente significativo. Originalmente estabelecido na década de 1920 como horto de eucaliptos para abastecimento de madeira para a ferrovia Great Western (Amador, 2012), o parque condensa, em sua própria história, a lógica da introdução de espécies exóticas a serviço da modernização econômica. Hoje, a presença predominante de indivíduos do gênero *Eucalyptus* constitui uma questão socioambiental local concreta: seus efeitos sobre a vegetação espontânea, os recursos hídricos e a dinâmica ecológica do parque são questões abertas que os estudantes podem começar a investigar por si mesmos — e que se articulam a debates mais amplos sobre monocultura, biodiversidade e justiça socioambiental (Meirelles & Calazans, 2006; Kröger, 2020; Zhouri, 2018).

Diante desse cenário, este estudo investiga de que formas uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI), sistematicamente planejada e implementada no contexto da ecologia urbana, mobiliza práticas epistêmicas relacionadas à interpretação de evidências, à argumentação e à construção de explicações científicas no Ensino Médio. O estudo foi desenhado para responder à seguinte questão de pesquisa: De que maneiras uma SEI que integra investigação ecológica de campo e análise crítica de mídia socioambiental promove práticas epistêmicas associadas à alfabetização científica em estudantes do Ensino Médio? A SEI combinou dois pontos de entrada complementares para o mesmo problema: uma investigação ecológica quantitativa conduzida no Parque dos Eucaliptos e a análise crítica do documentário *Desertos Verdes*, que situa as monoculturas florestais em escala nacional e discute seus impactos socioambientais. Essa combinação permitiu que diferentes formas de evidência — dados de campo, representações quantitativas, registros multimodais e discursos midiáticos — circulassem e fossem recontextualizadas pelos estudantes à medida que construíam explicações, constituindo o que este estudo denomina circulação multimodal de evidências a serviço da alfabetização científica.

Referencial Teórico

Alfabetização científica como eixo teórico do estudo

A alfabetização científica (AC) é o eixo conceitual central deste estudo e não se limita à aquisição de conhecimentos conceituais em ciências. Em seu sentido mais amplo, envolve a capacidade de compreender, interpretar, avaliar e produzir discursos baseados em evidências em diferentes contextos sociais.

Para Norris e Phillips (2003), a alfabetização científica é fundamentalmente uma forma de letramento em que a leitura e a escrita de textos científicos são essenciais para a participação nas práticas sociais da ciência. Sasseron e Carvalho (2011) propõem que a AC pode ser compreendida a partir de três eixos estruturantes: compreensão dos conceitos científicos, compreensão da natureza da ciência e compreensão das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

De forma complementar, Hodson (2014) enfatiza que a alfabetização científica envolve o desenvolvimento de posicionamentos críticos e o engajamento em práticas sociocientíficas, destacando seu caráter formativo e político.

Neste estudo, a alfabetização científica é tratada como categoria analítica, utilizada para interpretar as formas pelas quais os estudantes mobilizam dados ecológicos, constroem explicações e articulam evidências científicas a questões socioambientais.

Ecologia Urbana e o Parque dos Eucaliptos

O Parque Municipal Euclides Dourado apresenta, em sua estrutura espacial atual, condições ecológicas que refletem sua história de uso. A predominância de indivíduos de *Eucalyptus* em determinadas porções do parque cria microambientes distintos, caracterizados pelo acúmulo de serapilheira, pela alteração da disponibilidade de luz no sub-bosque e por possíveis modificações na físico-química do solo. Essas condições diferenciais — entre áreas sob influência direta do eucalipto e áreas com vegetação predominantemente espontânea — constituíram o eixo empírico da investigação ecológica, oferecendo aos estudantes um problema concreto e situado para observar, comparar e interpretar.

Do ponto de vista da ecologia urbana, fragmentos verdes como o Parque dos Eucaliptos exercem importantes funções ecossistêmicas: regulação microclimática, suporte à fauna urbana, manutenção de corredores ecológicos e contribuição para a recarga do lençol freático local. Ao mesmo tempo, a composição florística do parque resulta de decisões econômicas e históricas, e não de dinâmicas ecológicas espontâneas, o que torna sua análise pedagogicamente mais rica do que a de ambientes preservados. Aqui, natureza e história se sobrepõem de forma visível e investigável — e essa sobreposição é o que transforma o parque em um problema genuíno para o ensino de ciências, e não apenas em um cenário para atividades de campo ilustrativas (Carvalho, 2013; Amador, 2012).

Interações ecológicas e a alelopatia no *Eucalyptus*

As interações ecológicas entre plantas envolvem mecanismos de competição e interferência química mediada por metabólitos secundários (Taiz & Zeiger, 2013). Entre esses, destaca-se a alelopatia: a liberação de substâncias capazes de influenciar a germinação e o desenvolvimento de espécies vizinhas (Anaya, 1999). Estudos indicam que espécies de

Eucalyptus podem produzir compostos associados à alteração da regeneração vegetal em áreas sob sua influência (Hussain et al., 2020; Ferreira et al., 2019).

Neste estudo, os conceitos relacionados à alelopatia não foram utilizados como explicações causais comprovadas dos padrões ecológicos observados. Em vez disso, serviram como referencial teórico para interpretar hipóteses explicativas formuladas espontaneamente pelos estudantes durante a investigação — particularmente nas discussões sobre serapilheira, distribuição da vegetação espontânea e disponibilidade de água.

O surgimento dessas hipóteses foi compreendido como manifestação de práticas epistêmicas características do Ensino por Investigação: observação empírica, inferência causal e elaboração de explicações provisórias. Em vez de validar experimentalmente mecanismos ecológicos específicos, a proposta investigativa buscou fomentar a problematização científica e o desenvolvimento do raciocínio hipotético em contexto escolar.

Monoculturas florestais e os "desertos verdes"

As monoculturas de espécies arbóreas exóticas — especialmente o Eucalyptus — são frequentemente descritas como "desertos verdes" em razão da simplificação estrutural dos ecossistemas e da redução da diversidade biológica a elas associada (Meirelles & Calazans, 2006; Kröger, 2020). Embora economicamente significativas — sobretudo na produção de celulose e carvão —, esses sistemas envolvem contrapartidas socioambientais que a análise puramente econômica não é capaz de capturar.

Entre os principais efeitos, destacam-se: redução da biodiversidade, alterações no ciclo hidrológico, empobrecimento do solo e redução da disponibilidade hídrica (Kröger, 2020; FAO, 2020). Esses sistemas também podem gerar conflitos socioambientais relacionados ao uso do solo e à distribuição dos recursos naturais (Zhou, 2018), reforçando a necessidade de abordagens críticas e integradas para sua análise.

Metodologia

Delineamento e objetivos da pesquisa

Este estudo caracteriza-se como pesquisa descritiva de métodos mistos e natureza empírica, conduzida em contexto de educação básica. Combina procedimentos quantitativos de sistematização do desempenho investigativo dos estudantes com procedimentos qualitativos de análise das produções estudantis, interações discursivas e interpretações construídas ao longo da intervenção didática. O estudo não constitui um relato de experiência pedagógica em sentido descritivo; trata-se de uma investigação teoricamente fundamentada, organizada em torno de uma questão de pesquisa específica e de objetivos analíticos predefinidos.

O objetivo central do estudo foi analisar de que formas uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI), desenvolvida no contexto da ecologia urbana, mobiliza práticas

epistêmicas relacionadas à interpretação de evidências, à argumentação e à construção de explicações científicas em estudantes do Ensino Médio. Desse objetivo geral, derivaram-se três objetivos específicos: (1) caracterizar os padrões ecológicos das áreas investigadas por meio de análise fitossociológica; (2) avaliar o desempenho dos estudantes nas atividades investigativas nas dimensões conceitual, procedimental e atitudinal; e (3) identificar padrões de organização do raciocínio científico nas produções estudantis ao longo da SEI.

O estudo está fundamentado nos princípios do Ensino por Investigação (EnI), compreendido como abordagem pedagógica que promove a aprendizagem em ciências por meio de problematização, formulação de hipóteses, produção e interpretação de dados, argumentação baseada em evidências e construção de explicações científicas (Azevedo, 2004; Carvalho, 2013; Sasseron, 2015). A SEI constitui o dispositivo didático estruturante da intervenção, descrito em detalhes na Seção 2.2; as análises subsequentes incidem sobre as produções e interações dela decorrentes.

A investigação foi desenvolvida com uma única turma do primeiro ano do Ensino Médio. O delineamento não incluiu grupo controle nem pré/pós-teste padronizado, uma vez que o objetivo do estudo não era medir ganhos de aprendizagem por comparação experimental, mas analisar processos de produção de conhecimento, interpretação de dados e argumentação científica tal como se desenvolvem em um contexto investigativo sistematicamente organizado — abordagem compatível com as tradições de pesquisa qualitativa e interpretativa em educação científica (Bardin, 2016; Carvalho, 2013).

Os procedimentos quantitativos desempenharam função descritiva e complementar em relação à análise qualitativa, dada a natureza pedagógica da intervenção e o número reduzido de participantes. A pesquisa respeitou os princípios éticos aplicáveis a estudos em contexto escolar, assegurando o anonimato e a confidencialidade de todas as produções analisadas.

Contexto, participantes e sequência investigativa

O estudo foi desenvolvido com 26 estudantes do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola pública estadual de Garanhuns, no âmbito da Unidade Curricular de Investigação Científica do modelo do Novo Ensino Médio da Rede Estadual de Educação de Pernambuco. A intervenção ocorreu entre agosto e outubro de 2022, abrangendo atividades relacionadas à Ecologia e à Educação Ambiental.

A proposta foi desenvolvida ao longo de dezenove aulas de cinquenta minutos, distribuídas entre atividades em sala de aula e investigação de campo no Parque Municipal Euclides Dourado. O local foi selecionado por apresentar áreas com serapilheira de eucalipto ao lado de áreas com vegetação predominantemente espontânea, possibilitando comparação ecológica pelos estudantes.

Durante a fase inicial da sequência investigativa, os estudantes levantaram questões espontâneas sobre as características ecológicas do ambiente investigado e suas experiências vividas na comunidade local. Entre as que se destacaram: "O cheiro das folhas de eucalipto poderia ter algo a ver com o fato de crescerem menos plantas na Área 1?"; "Eu moro perto... Meu pai cavou um poço e não saiu água. Será que os eucaliptos têm algo a ver com isso?"; e "Se o eucalipto não é uma planta brasileira, por que não substituí-lo por árvores nativas como ipê e pau-brasil?" Questões sobre competição ecológica também emergiram: "Que vantagem o eucalipto obtém ao impedir o crescimento de outras plantas?" Essas questões passaram a orientar muitas das hipóteses e discussões desenvolvidas ao longo da investigação.

Antes das atividades em sala de aula, o professor-pesquisador realizou um reconhecimento da área de estudo, um levantamento preliminar da vegetação espontânea e organizou os instrumentos pedagógicos utilizados na sequência. O levantamento botânico foi apoiado pelos aplicativos iNaturalist, PlantNet, PlantSnap e PictureThis, além de literatura especializada em Botânica e Ecologia Vegetal. Com base nessas informações, foi elaborado um guia simplificado de identificação botânica para uso durante o trabalho de campo.

A SEI foi organizada em duas fases articuladas. A primeira focou em uma investigação ecológica quantitativa da vegetação espontânea em áreas com e sem serapilheira de eucalipto. Os estudantes participaram de observação, identificação de espécies, registro de dados e análise de parâmetros ecológicos relacionados à biodiversidade vegetal.

A segunda fase concentrou-se na análise socioambiental das monoculturas florestais, envolvendo a discussão do documentário *Desertos Verdes*, a construção de mapas mentais e a produção de textos argumentativos sobre os impactos ambientais e sociais do modelo de monocultura de eucalipto.

A organização geral da SEI é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1.

Síntese da Sequência de Ensino Investigativo em Ecologia Urbana

Fase	Atividades dos estudantes	Papel do professor	Objetivo pedagógico
Planejamento e preparação	—	Reconhecimento da área, levantamento botânico e preparação do guia de identificação	Organizar o espaço e os instrumentos investigativos
Problematização inicial	Discussão das diferenças entre áreas com e sem eucalipto e formulação de hipóteses	Mediação das questões investigativas	Introduzir o problema ecológico

Fase	Atividades dos estudantes	Papel do professor	Objetivo pedagógico
Investigação de campo	Observação, identificação e registro de espécies vegetais	Orientação em campo e suporte técnico	Desenvolver habilidades de observação e coleta de dados
Sistematização e análise ecológica	Organização de tabelas, cálculos ecológicos e interpretação dos resultados	Mediação conceitual e análise dos dados	Relacionar dados empíricos e conceitos ecológicos
Discussão socioambiental	Análise do documentário Desertos Verdes e debate sobre os impactos das monoculturas	Contextualização e problematização	Integrar as dimensões ecológica e social
Sistematização conceitual	Construção de mapas mentais e tabelas-síntese	Apoio à organização das ideias	Articular conceitos científicos e socioambientais
Produção argumentativa	Elaboração e socialização de textos argumentativos	Avaliação e mediação final	Desenvolver a argumentação baseada em evidências

Nota: Elaborado pelos autores.

Investigação ecológica de campo

A investigação ecológica foi conduzida em duas áreas localizadas na porção oeste do Parque Municipal Euclides Dourado. A Área 1 continha indivíduos do gênero *Eucalyptus* e acúmulo de serapilheira; a Área 2 não apresentava essas características de forma significativa.

Cada área cobria 60 m² e foi subdividida em três parcelas de 20 m² (10 m × 2 m), delimitadas com cordas. Os estudantes foram organizados em grupos de quatro a cinco integrantes para observar, identificar e registrar as espécies vegetais espontâneas presentes nas parcelas amostradas.

O número de indivíduos por espécie, a frequência de ocorrência, a distribuição espacial e a composição florística foram registradas e organizadas em tabelas fitossociológicas para análise.

Os parâmetros fitossociológicos utilizados na investigação estão sistematizados na Tabela 2. Sua apresentação anterior aos procedimentos de análise torna transparente o quadro quantitativo, permitindo ao leitor acompanhar os critérios que orientaram tanto a coleta de dados quanto a interpretação pelos estudantes.

A análise quantitativa incluiu parâmetros clássicos da ecologia de comunidades vegetais, como frequência, abundância, densidade e riqueza de espécies (Mueller-Dombois &

Ellenberg, 1974). A diversidade alfa foi estimada pelo Índice de Margalef (Magurran, 2011), e a similaridade florística entre as áreas foi avaliada pelo Índice de Sørensen (Silva, Matos & Ferreira, 2008).

Tabela 2.

Caracterização dos parâmetros fitossociológicos utilizados no estudo

Indicador	Definição
f (frequência absoluta)	Valores que representam o número de indivíduos.
Xi (frequência relativa)	Razão entre a frequência absoluta e o número total de indivíduos ($f_i / \sum f_i$).
fi% (frequência percentual relativa)	Frequência relativa expressa em porcentagem ($f_i / \sum f_i \times 100$).
S (riqueza de espécies)	Número de espécies encontradas na área de estudo.
AA (abundância absoluta)	Número total de indivíduos de uma espécie.
AR (abundância relativa)	Proporção do número de indivíduos de uma espécie em relação ao total da comunidade.
D (densidade)	Número de indivíduos de uma espécie por unidade de área amostrada.
Curva espécie-área	Gráfico que relaciona o número de espécies ao aumento da área amostrada.

Nota: Adaptado de Mueller-Dombois e Ellenberg (1974).

Análise socioambiental dos “desertos verdes”

A segunda fase da sequência investigativa focou nos impactos socioambientais da monocultura de eucalipto. O documentário utilizado foi Desertos Verdes: plantações de eucalipto, agrotóxicos e água, produzido pelo Centro de Estudos e Pesquisa para o Desenvolvimento do Extremo Sul da Bahia (CEPEDES).

Após a exibição do documentário, os estudantes realizaram atividades de análise crítica orientadas pelo professor, identificando problemas ambientais, sociais e econômicos relacionados à expansão das monoculturas florestais. Os grupos então organizaram tabelas-síntese e mapas mentais articulando biodiversidade, uso dos recursos naturais, conflitos socioambientais e impactos sobre comunidades tradicionais.

A análise do documentário foi estruturada em torno de trechos temáticos que orientaram a discussão em sala de aula. O material aborda a expansão das monoculturas de eucalipto sobre áreas de Mata Atlântica, o modelo produtivo orientado para a exportação de celulose e o alto consumo de recursos naturais. Trata também do uso de agrotóxicos, impactos à saúde e ao meio ambiente, concentração fundiária e conflitos com comunidades tradicionais.

O documentário ainda destaca a redução da biodiversidade, a intensificação tecnológica da produção e as contradições entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental.

Como atividade final, os estudantes produziram individualmente um texto dissertativo-argumentativo sobre "O impacto dos desertos verdes na sociedade e no meio ambiente", integrando os conhecimentos científicos desenvolvidos ao longo da sequência investigativa.

Procedimentos de avaliação

A avaliação da aprendizagem foi processual e formativa ao longo de toda a SEI, abrangendo as dimensões conceitual, procedimental e atitudinal, em consonância com perspectivas de avaliação em ciências orientadas para o desenvolvimento de competências científicas (Zabala, 1998).

Na dimensão conceitual, a avaliação considerou a compreensão de conceitos ecológicos, a interpretação de dados e a construção de explicações baseadas em evidências. Na dimensão procedimental, foram observadas a organização de registros de campo, a sistematização de dados, os cálculos ecológicos e a elaboração de representações gráficas. Na dimensão atitudinal, foram analisados o engajamento, a colaboração, a autonomia investigativa e a participação nas atividades coletivas.

As produções avaliadas incluíram registros de campo, tabelas de sistematização, mapas mentais, interpretações de dados ecológicos e textos argumentativos, constituindo o corpus de análise da aprendizagem ao longo da intervenção.

Crêterios de avaliação e classificaçaçaçaço do desempenho investigativo

O desempenho dos estudantes foi analisado por meio de rubricas alinhadas aos objetivos da SEI e aos princípios do Ensino por Investigaçaçaçaço, contemplando competências relacionadas à observaçaçaçaço científica, interpretaçaçaçaço de dados, mobilizaçaçaçaço conceitual e argumentaçaçaçaço.

O desempenho foi classificaçaçaçaço em trêss nêveis — básiacaçaço, adequaçaçaço e avançaçaçaço — definidos segundo o grau de apropriaçaçaçaço conceitual e a complexidade das respostas estudantis. Para fins de sistematizaçaçaçaço descritiva, os nêveis foram convertidos em escala ordinal (1 = básiacaçaço; 2 = adequaçaçaço; 3 = avançaçaçaço), possibilitando a integraçaçaçaço da análise qualitativa e quantitativa.

Os crêterios de avaliaçaçaçaço foram adaptados às especificidades de cada fase da SEI. Na investigaçaçaçaço ecológica, foram priorizados os procedimentos de observaçaçaçaço, a organizaçaçaçaço dos registros e a interpretaçaçaçaço dos padrões ecológicos. Na fase de análise socioambiental e produçaçaçaço argumentativa, a ênfase recaiu sobre a coerênciacaçaçaço argumentativa, a articulaçaçaçaço conceitual e o uso de evidênciacaçaçaço científicas na problematizaçaçaçaço das questôess discutidas.

Tabela 3.*Critérios de classificação do desempenho investigativo nas atividades da SEI*

Nível	Investigação ecológica	Análise socioambiental e produção argumentativa
Básico	Identifica parcialmente espécies e organiza dados com inconsistências. As interpretações permanecem descritivas e pouco articuladas com conceitos ecológicos.	Apresenta descrições superficiais do documentário, com argumentação limitada e pouco uso de evidências científicas.
Adequado	Organiza registros funcionalmente, reconhecendo relações básicas entre riqueza de espécies, densidade e distribuição.	Articula parcialmente conceitos ecológicos e socioambientais, utilizando algumas evidências para sustentar argumentos.
Avançado	Organiza e interpreta dados sistematicamente, articulando conceitos ecológicos e elaborando explicações fundamentadas.	Integra informações do documentário e da investigação de campo, construindo argumentos consistentes e análises críticas articuladas.

*Nota: Elaborado pelos autores.****Tratamento e análise dos dados***

Os dados produzidos ao longo da SEI foram organizados por meio de procedimentos quantitativos e qualitativos complementares, combinados em um processo de triangulação entre diferentes fontes de evidência.

Os dados quantitativos foram analisados por estatística descritiva, com frequências absolutas e relativas aplicadas aos níveis de desempenho dos estudantes em escala ordinal (1 = básico; 2 = adequado; 3 = avançado). Os parâmetros fitossociológicos e os índices ecológicos relacionados à composição da vegetação investigada também foram sistematizados. Dado o número reduzido de participantes e a natureza pedagógica da investigação, não foram empregados testes estatísticos inferenciais.

A análise qualitativa seguiu os princípios da Análise de Conteúdo (Bardin, 2016), com um corpus composto por registros de campo, tabelas ecológicas, mapas mentais, discussões investigativas e textos argumentativos. O processo analítico envolveu a codificação de unidades de registro e o agrupamento em categorias analíticas relacionadas à observação ecológica, à inferência causal, à argumentação baseada em evidências e à problematização socioambiental.

Para assegurar a confiabilidade do processo de categorização, foi aplicado um procedimento de confiabilidade intraavaliador às produções interpretativas e representacionais dos estudantes (mapas mentais, atividades de interpretação ecológica, análise do documentário e textos argumentativos). A investigação ecológica de campo foi

excluída desse procedimento, por consistir em registros diretos de observação técnica e medições.

As produções foram reavaliadas em dois momentos distintos, com intervalo de duas semanas, utilizando os mesmos critérios e rubricas. A concordância entre as classificações foi estimada pelo coeficiente Kappa de Cohen ($\kappa \approx 0,80$), indicando concordância substancial segundo Landis e Koch (1977), o que confere estabilidade ao processo de categorização.

A triangulação entre a investigação ecológica, as produções estudantis e a análise do documentário permitiu examinar relações de convergência e complementaridade entre diferentes formas de representação e interpretação, evidenciando como os estudantes articularam dados empíricos, representações científicas e discursos socioambientais na construção de explicações ao longo da SEI.

Resultados e Discussão

Esta seção integra dados ecológicos, produções estudantis e análise teórica em quatro eixos articulados. Os resultados são apresentados em diálogo com a literatura, de modo a construir progressivamente o argumento central do estudo, evitando a descrição separada dos resultados seguida de sua repetição na discussão.

Os resultados indicam que a SEI fomentou competências relacionadas à observação científica, interpretação de dados, comparação de evidências e elaboração de explicações fundamentadas. Ao longo das atividades, os estudantes mobilizaram diferentes formas de evidência — registros ecológicos de campo, tabelas fitossociológicas, gráficos, um documentário socioambiental e produções textuais — com variação no nível de organização e sistematização das informações.

Padrões ecológicos das áreas investigadas

A investigação ecológica foi conduzida em duas áreas amostrais do Parque Municipal Euclides Dourado, diferenciadas pela presença de indivíduos de *Eucalyptus* e pelo acúmulo de serapilheira. A comparação entre as áreas constituiu o eixo empírico da atividade investigativa.

Os dados fitossociológicos revelam diferenças nos padrões estruturais da vegetação espontânea entre as duas áreas. A Área 1 apresentou menor riqueza de espécies ($S = 16$) e menor densidade de indivíduos, enquanto a Área 2 registrou maior riqueza florística ($S = 30$), maior abundância total e maior densidade relativa. O Índice de Margalef confirmou maior riqueza relativa de espécies na Área 2 ($d = 4,16$) em comparação com a Área 1 ($d = 2,28$). O Índice de Sørensen ($C_s = 0,71$) indicou similaridade florística moderada entre as áreas.

Os principais parâmetros fitossociológicos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4.*Parâmetros fitossociológicos e índices ecológicos das áreas investigadas*

Variável	Área 1	Área 2
Número de espécies (S)	16	30
Número de indivíduos (N)	464	1.072
Espécies exclusivas	2	16
Espécies comuns	14	14
Densidade (ind./m ²)	7,73	17,86
Índice de Margalef (d)	2,28	4,16
Índice de Sørensen (Cs)	—	0,71

Nota: Dados da pesquisa.

A composição florística detalhada, com a distribuição das espécies nos quadrantes amostrais e variações em frequência e abundância, é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5.

Frequência absoluta e distribuição das espécies vegetais registradas nas áreas amostrais do Parque Municipal Euclides Dourado (Garanhuns–PE)

Família botânica	Espécie	Área 1 (60 m ²)	Área 2 (60 m ²)	Σ Espécies	Σ Família
Asteraceae	Ageratum conyzoides	33	51	84	669
	Bidens alba	0	10	10	
	Bidens pilosa	0	14	14	
	Conyza bonariensis	0	27	27	
	Emilia fosbergii Nicolson	0	38	38	
	Galinsoga sp.	0	27	27	
	Gamochaeta pensilvanica	208	144	352	
	Parthenium hysterophorus	0	10	10	
	Soliva anthemifolia	25	71	96	
Amaranthaceae	Tridax procumbens	0	11	11	28
	Amaranthus spinosus	5	8	13	
	Amaranthus viridis	4	11	15	

Família botânica	Espécie	Área 1 (60 m²)	Área 2 (60 m²)	Σ Espécies	Σ Família
Apiaceae	Cyclospermum leptophyllum	8	5	13	13
Boraginaceae	Cardamine occulta	0	16	16	70
	Heliotropium indicum	0	4	4	
	Lepidium virginicum	41	9	50	
Caryophyllaceae	Drymaria cordata	20	222	242	242
Commelinaceae	Callisia repens	2	3	5	132
	Commelina benghalensis	4	24	28	
	Commelina diffusa	0	38	38	
	Commelina erecta	47	14	61	
Cyperaceae	Cyperus sp.	4	5	9	9
Euphorbiaceae	Euphorbia heterophylla	0	13	13	30
	Euphorbia hirta	3	14	17	
Hypoxidaceae	Hypoxis decumbens	0	6	6	6
Phyllanthaceae	Phyllanthus niruri	0	38	38	38
Rubiaceae	Borreria verticillata	3	26	29	267
	Mitracarpus hirtus	0	103	103	
	Richardia grandiflora	30	105	135	
Solanaceae	Solanum americanum	5	5	10	10
Urticaceae	Pilea hyalina	3	0	3	22
	Pilea microphylla	19	0	19	
Total		464	1.072	1.536	1.536

Nota: Levantamento fitossociológico em duas unidades de 60 m², comparando a Área 1 (sob influência de serapilheira de Eucalyptus) e a Área 2 (vegetação espontânea). Fonte: Dados da pesquisa.

Esses padrões são consistentes com o que a literatura descreve em sistemas florestais dominados por espécies exóticas: a homogeneização ambiental pode reduzir a heterogeneidade microestrutural e limitar a regeneração de espécies herbáceas (Meirelles & Calazans, 2006; Kröger, 2020). A menor representatividade de famílias como Rubiaceae, Commelinaceae e Caryophyllaceae na Área 1 — incluindo espécies como Mitracarpus hirtus (103 indivíduos encontrados exclusivamente na Área 2) e Drymaria cordata (222 indivíduos na Área 2, contra 20 na Área 1) — sugere que a composição florística reflete as distintas condições microambientais entre as áreas.

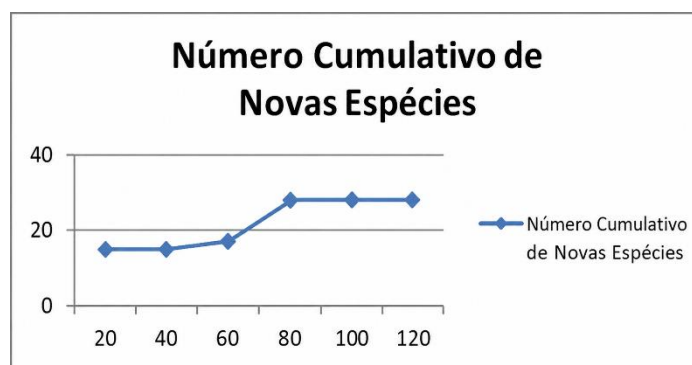
Esses resultados não autorizam inferências causais diretas. A ausência de análises físico-químicas do solo e de controle experimental impede a atribuição dos padrões observados

a mecanismos específicos, como a alelopatia — discutida na literatura como possível fator nas interações envolvendo o *Eucalyptus* (Anaya, 1999; Ferreira et al., 2019) —, mas não verificável a partir de dados observacionais escolares.

A curva espécie-área mostrou tendência de estabilização com o aumento da área amostrada, indicando que o esforço amostral foi adequado para caracterizar as comunidades vegetais no contexto de uma investigação escolar.

Gráfico 1.

Curva espécie-área. Número cumulativo de espécies em função da área amostrada cumulativa (m²) nas áreas investigadas do Parque Municipal Euclides Dourado



Nota: Dados da pesquisa

Do ponto de vista ecológico, os resultados devem ser lidos com cautela. O Índice de Sørensen ($C_s = 0,71$) indica similaridade florística moderada entre as áreas, sugerindo que os fatores que diferenciam as comunidades vegetais não são suficientemente drásticos para produzir composições radicalmente distintas — o que é esperado em ambientes urbanos fragmentados, onde a dispersão de propágulos entre áreas próximas tende a homogeneizar parcialmente a flora espontânea. A menor riqueza e densidade na Área 1 pode estar associada a múltiplos fatores microambientais — disponibilidade de luz, estrutura do solo, umidade — e não a um único mecanismo causal.

A distinção entre as duas áreas criou uma condição rara nas investigações escolares: a possibilidade de comparação empírica situada, com dados coletados pelos próprios estudantes. Isso transformou o parque em um problema, e não meramente em um cenário — dimensão que distingue o Ensino por Investigação do trabalho de campo meramente ilustrativo (Carvalho, 2013).

Práticas epistêmicas nas produções estudantis

A sequência investigativa gerou diferentes tipos de produções estudantis — registros de campo, tabelas ecológicas, mapas mentais, interpretações do documentário e textos argumentativos — que evidenciam formas distintas de mobilização e organização de evidências ao longo das atividades.

Na investigação ecológica, observou-se variação no nível de organização e sistematização dos registros de campo. Alguns estudantes produziram tabelas completas e padronizadas, enquanto outros apresentaram registros parciais ou inconsistências na categorização das espécies e na contagem dos indivíduos.

Nas atividades de interpretação ecológica, algumas produções permaneceram predominantemente descritivas, limitando-se a enumerar espécies e comparar áreas de forma direta. Em outros casos, os estudantes passaram a estabelecer relações entre riqueza florística, presença de serapilheira e distribuição da vegetação, sugerindo o surgimento de interpretações iniciais fundamentadas em dados empíricos. Essa transição da descrição para a explicação corresponde ao que Sasseron e Carvalho (2011) denominam indicadores de alfabetização científica — capacidades como serialização, organização e classificação de dados que precedem a elaboração de argumentos mais estruturados.

Um dos achados mais significativos da sequência não reside nos dados ecológicos em si, mas nas questões que eles geraram. Perguntas como "O cheiro das folhas poderia ter algo a ver com o fato de crescerem menos plantas aqui?" ou "Meu pai cavou um poço perto daqui e não saiu água — será que os eucaliptos têm ligação com isso?" não são erros conceituais a serem corrigidos. São manifestações de um raciocínio hipotético-dedutivo nascente, sustentado pela observação direta e pela experiência vivida.

Esse tipo de formulação corresponde ao que a literatura em educação científica identifica como práticas epistêmicas inerentes à investigação científica escolar: a produção de hipóteses explicativas provisórias a partir de padrões observados (Driver, Newton & Osborne, 2000; Lederman, 2007). O que distingue uma prática epistêmica legítima de uma resposta equivocada não é o acerto da hipótese, mas a relação que o estudante estabelece entre evidência e explicação. Nesse sentido, a questão sobre o cheiro da serapilheira é epistemicamente mais sofisticada do que uma resposta correta copiada de um texto, pois envolve inferência a partir de dados concretos.

A mediação pedagógica foi decisiva nesse processo. Tratar essas hipóteses como pontos de partida para uma investigação mais aprofundada — e não como erros a serem eliminados — é o que caracteriza o papel do professor no EnI, e o que permitiu que o raciocínio hipotético se desenvolvesse ao longo da sequência, em vez de ser interrompido precocemente (Azevedo, 2004).

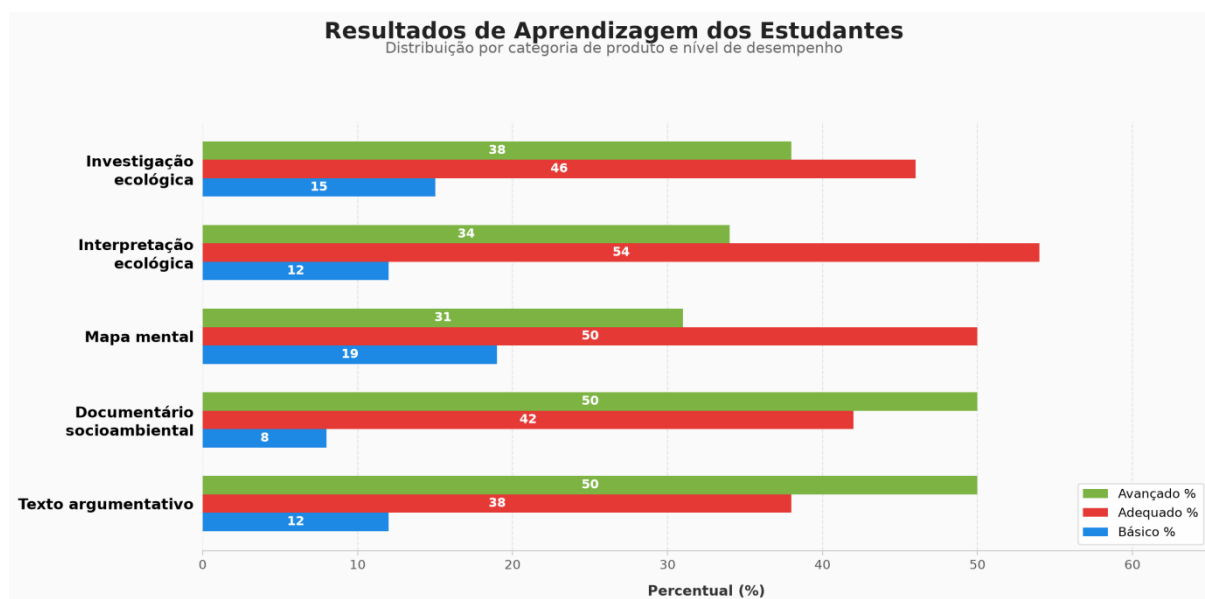
A distribuição dos níveis de desempenho nas atividades avaliadas é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6.*Distribuição dos estudantes por níveis de desempenho nas atividades investigativas*

Atividade	Básico n (%)	Adequado n (%)	Avançado n (%)
Investigação ecológica	4 (15,4%)	12 (46,2%)	10 (38,5%)
Interpretação ecológica	3 (11,5%)	14 (53,8%)	9 (34,7%)
Mapa mental	5 (19,2%)	13 (50,0%)	8 (30,8%)
Documentário socioambiental	2 (7,7%)	11 (42,3%)	13 (50,0%)
Texto argumentativo	3 (11,5%)	10 (38,5%)	13 (50,0%)

Nota: Níveis de desempenho definidos por rubricas categoriais (1 = básico; 2 = adequado; 3 = avançado), com coeficiente de confiabilidade intraavaliador $\kappa \approx 0,80$ (Landis & Koch, 1977). Fonte: Dados da pesquisa.

A distribuição evidencia predominância de desempenhos adequados e avançados nas cinco atividades avaliadas, com a menor proporção de desempenhos básicos registrada na análise do documentário (7,7%) e na produção escrita (11,5%). Esse padrão sugere que atividades que exigem integração entre múltiplas fontes e posicionamento argumentativo mobilizaram mais eficazmente as capacidades interpretativas dos estudantes do que as tarefas de registro e sistematização ecológica.

Gráfico 2.*Distribuição dos níveis de desempenho dos estudantes por atividade investigativa (n = 26)*

Nota: Dados da pesquisa

Argumentação científica e circulação de evidências

Na produção argumentativa final, emergiram diferenças qualitativas relevantes. Textos de nível básico descreveram os impactos do eucalipto com base exclusivamente em informações do documentário, sem mobilizar dados da investigação de campo. Textos de nível avançado, por sua vez, articularam evidências empíricas das tabelas fitossociológicas com informações audiovisuais e conceitos ecológicos discutidos ao longo da sequência — aproximando-se do que Norris e Phillips (2003) descrevem como o uso da leitura científica para a construção ativa de sentido, e não meramente para extração de informações.

A progressão nos níveis de desempenho ao longo das atividades da SEI não é uniforme. O maior desempenho ocorreu precisamente nas atividades que exigiam maior integração — análise do documentário e produção de texto argumentativo —, e não no registro e sistematização ecológica, que poderiam ser considerados mais elementares por envolverem dados concretos.

Esse padrão sugere que o desafio epistêmico central para os estudantes não estava em coletar ou organizar dados, mas em recontextualizá-los: usar evidências de campo para sustentar argumentos sobre problemas socioambientais em maior escala. Quando isso ocorreu — em textos que conectaram dados fitossociológicos a informações do documentário —, produziu o tipo de argumentação que Norris e Phillips (2003) descrevem como leitura científica em seu sentido pleno: não mera extração de informações, mas a construção ativa de um posicionamento a partir de múltiplas fontes.

A combinação da investigação de campo com o documentário Desertos Verdes foi o dispositivo que tornou possível essa circulação. O documentário não funcionou como substituto ou mero complemento temático à investigação empírica — funcionou como um segundo ponto de entrada para o mesmo problema, em uma escala diferente. Estudantes que já haviam observado diferenças na riqueza florística entre áreas contíguas no parque encontraram, no documentário, uma narrativa que conferia sentido social e político a essas diferenças. Esse movimento de expansão de escala é central à problematização sociocientífica (Hodson, 2014; Zhouri, 2018).

Essa expansão — dos dados locais para os problemas socioambientais em escala nacional — só foi possível porque as diferentes formas representacionais mobilizadas ao longo da SEI não operaram como recursos didáticos independentes. Registros de campo, tabelas fitossociológicas, gráficos, mapas mentais, o documentário audiovisual e textos argumentativos funcionaram como modos complementares de construção e circulação de evidências: cada um abriu um ponto de entrada distinto para o mesmo problema, e a passagem entre eles foi o movimento pelo qual os estudantes progressivamente ampliaram e aprofundaram suas explicações.

Circulação multimodal de evidências e construção de sentido

As diferentes formas representacionais mobilizadas ao longo da SEI — registros de campo, tabelas fitossociológicas, gráficos, mapas mentais, produções textuais e o documentário audiovisual — não operaram como recursos didáticos independentes, mas como modos complementares de construção e circulação de evidências. Essa perspectiva ressoa com a educação científica multimodal, que compreende diferentes sistemas semióticos como recursos de produção de sentido que estruturam formas distintas de apreensão dos fenômenos (Kress & van Leeuwen, 2006; Tytler, Prain & Hubber, 2013).

Os mapas mentais ilustram esse processo de forma particularmente clara. Enquanto algumas produções apresentavam estrutura linear — listando conceitos sem articulá-los —, outras revelavam conexões entre biodiversidade, monocultura, ciclo hidrológico e impactos sociais, indicando integração conceitual mais elaborada. Essa variação reflete não apenas diferenças individuais de habilidade, mas a natureza do próprio instrumento: um mapa mental exige que os estudantes selecionem, hierarquizem e relacionem informações de fontes distintas, operação cognitiva que vai muito além da transcrição de conteúdo.

Figura 1.

Exemplo de mapa mental elaborado por um estudante (nível de desempenho avançado).

DESERTOS VERDES: EUCALIPTO, PLANTAÇÕES, AGROQUÍMICOS E ÁGUA



Nota: Acervo da pesquisa (identificação suprimida para preservar o anonimato)

O documentário Desertos Verdes cumpriu uma função distinta dos demais tipos de representação. Enquanto os registros de campo e as tabelas ancoravam a investigação em dados situados e locais, o documentário expandiu o repertório interpretativo dos estudantes para contextos de maior escala: a expansão das monoculturas sobre a Mata Atlântica, os conflitos fundiários e os impactos sobre comunidades tradicionais. Esse movimento de recontextualização — levar as evidências locais ao diálogo com questões mais amplas — é central à alfabetização científica em sua dimensão sociocientífica (Hodson, 2014; Zhouri, 2018).

Três padrões de organização do raciocínio científico foram identificados nas produções estudantis: um padrão descritivo-quantitativo, predominante nos registros ecológicos; um padrão interpretativo-contextual, mais frequente nas atividades relacionadas ao documentário; e um padrão integrativo, presente nos textos argumentativos que articulavam ambas as fases da sequência. A transição entre esses padrões não ocorreu de forma espontânea; foi fortemente mediada pelas estruturas das atividades e pela intervenção do professor — o que reforça que a alfabetização científica é uma prática social dependente de condições pedagógicas específicas, e não uma habilidade que emerge naturalmente da exposição aos dados (Azevedo, 2004; Carvalho, 2013).

Esses três padrões não representam estágios fixos de desenvolvimento cognitivo, mas modos de organização do raciocínio que coexistiram nas produções estudantis e alternaram-se conforme o tipo de atividade e o grau de mediação pedagógica disponível. O padrão descritivo-quantitativo predominou nos registros ecológicos de campo, onde a tarefa central era nomear, contar e organizar. O padrão interpretativo-contextual emergiu com maior frequência nas atividades relacionadas ao documentário, quando os estudantes precisavam estabelecer relações entre dados e contextos mais amplos. O padrão integrativo apareceu principalmente nos textos argumentativos finais, onde articular as duas fases da SEI era condição necessária para a construção de um argumento consistente.

Figura 2.

Padrões de organização do raciocínio científico identificados nas produções estudantis ao longo da SEI.



Nota: Elaborado pelos autores com base nas categorias analíticas da pesquisa.

Limitações metodológicas e implicações pedagógicas

O delineamento adotado apresenta limitações que devem ser consideradas na leitura dos resultados. Do ponto de vista ecológico, os dados refletem um único momento no tempo e

uma escala espacial reduzida — compatível com investigações escolares, mas insuficiente para sustentar afirmações sobre dinâmicas mais amplas da vegetação urbana. A ausência de análises físico-químicas do solo e de controle experimental impede a verificação de mecanismos ecológicos específicos, mantendo as interpretações causais em nível hipotético — o que, diga-se, é epistemicamente apropriado ao contexto.

Do ponto de vista metodológico, o uso da confiabilidade intraavaliador ($\kappa \approx 0,80$) assegura consistência interna das categorias analíticas. A ausência de validação por avaliador independente é reconhecida como limitação e aponta para a necessidade de pesquisas futuras com procedimentos mais robustos de confiabilidade entre avaliadores. O delineamento com turma única — sem grupo controle nem pré/pós-teste padronizado — é compatível com os objetivos declarados do estudo (analisar processos, e não medir ganhos por comparação experimental), mas limita a possibilidade de comparações sistemáticas com outros contextos pedagógicos.

Do ponto de vista pedagógico, os resultados indicam que o desenvolvimento de práticas epistêmicas — especialmente interpretação de dados e argumentação baseada em evidências — exige continuidade e progressão curricular. Intervenções isoladas, por mais bem estruturadas que sejam, produzem avanços parciais e heterogêneos. A SEI descrita aqui constitui um dispositivo pedagógico promissor, mas seu potencial formativo depende de estar inserida em trajetórias de aprendizagem mais extensas, nas quais os estudantes tenham oportunidades recorrentes de se engajar com problemas investigativos contextualizados.

A proposta também apresenta condições específicas de implementação que nem sempre estão disponíveis nas escolas públicas brasileiras: tempo de aula estendido, acesso a espaços verdes urbanos, disponibilidade de ferramentas digitais de identificação botânica e planejamento sequencial detalhado. Essas condições influenciam diretamente a qualidade das práticas investigativas e devem ser consideradas em propostas de replicação ou adaptação da sequência.

Conclusão

Este estudo analisou uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI) em ecologia urbana que combinou investigação de campo e análise crítica de mídia socioambiental para investigar a promoção da alfabetização científica no Ensino Médio.

Os resultados indicam que a proposta fomentou a mobilização de práticas epistêmicas relacionadas à observação, à interpretação de dados ecológicos, à comparação de evidências e à construção de argumentos fundamentados. Predominaram desempenhos adequados e avançados, particularmente nas atividades que exigiam integração entre dados empíricos, representações gráficas e produção argumentativa.

A investigação de campo possibilitou a produção de dados ecológicos situados, posteriormente mobilizados na análise do documentário Desertos Verdes. Esse processo

favoreceu conexões entre observações locais e discussões socioambientais mais amplas, ampliando as oportunidades de interpretação dos fenômenos estudados.

Os achados sugerem que a alfabetização científica se desenvolve de forma gradual e não linear, envolvendo a transição de descrições iniciais para formas mais elaboradas de interpretação e argumentação baseada em evidências. Esse processo dependeu da mediação docente e da organização das atividades investigativas — especialmente na articulação das dimensões conceitual, procedimental e sociocientífica da aprendizagem.

Do ponto de vista pedagógico, os resultados reforçam o potencial de abordagens investigativas em ecologia urbana, integradas à análise de mídia socioambiental, para engajar os estudantes em práticas científicas escolares. A combinação entre trabalho de campo e problematização sociocientífica mostrou-se relevante para ampliar as oportunidades de interpretação, argumentação e construção de sentido científico.

Do ponto de vista teórico, os resultados contribuem para as discussões sobre alfabetização científica em sua dimensão multimodal. A circulação de evidências entre diferentes sistemas de representação — registros de campo, tabelas fitossociológicas, gráficos, mapas mentais, o documentário audiovisual e textos argumentativos — não foi um recurso didático acessório, mas o mecanismo central pelo qual os estudantes construíram explicações progressivamente mais elaboradas. Cada modo de representação abriu um ponto de entrada distinto para o mesmo problema; a passagem entre eles possibilitou a recontextualização de evidências locais em argumentos sobre questões socioambientais de maior escala. Essa perspectiva sugere que o desenvolvimento de práticas epistêmicas em ecologia urbana depende não apenas da qualidade dos dados de campo, mas das condições pedagógicas que permitem que esses dados circulem, sejam reinterpretados e se tornem argumentos — o que exige planejamento sequencial cuidadoso, mediação docente consistente e tempo didático suficiente para que o processo se desenvolva.

Como implicação educacional, destaca-se a importância da continuidade das experiências investigativas ao longo do currículo, dado que as competências relacionadas à interpretação de dados e à argumentação científica dependem de recorrência e progressão pedagógica.

Por fim, os resultados devem ser compreendidos em seu caráter situado, vinculado ao contexto específico de implementação da SEI, e como contribuição às discussões em curso sobre ensino por investigação e alfabetização científica no ensino de Ciências da Natureza.

REFERÊNCIAS

Amador, M. B. M. (2012). Percepção da paisagem do Parque Euclides Dourado no município de Garanhuns – PE. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 8(4), 1–14.

- Anaya, A. L. (1999). Allelopathy as a tool in the management of biotic resources in agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(6), 697–739.
- Araujo, L. A. L., Santana, C. M. B., & Franzolin, F. (2023). Brazilian teachers' views and experiences regarding teaching biodiversity in an evolutionary and phylogenetic approach. *Evolution: Education and Outreach*, 16, Article 11.
- Azevedo, M. C. P. S. (2004). Ensino por investigação: Problematizando as atividades em sala de aula. In A. M. P. Carvalho (Org.), *Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática* (pp. 19–33). Pioneira Thomson Learning.
- Bardin, L. (2016). *Análise de conteúdo*. Edições 70.
- Carvalho, A. M. P. (2013). *Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula*. Cengage Learning.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- El-Hani, C. N., & Bizzo, N. M. V. (2002). Formas de construtivismo: Mudança conceitual e construtivismo contextual. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 4(1), 40–64.
- Espinosa-García, F. J., Martínez-Hernández, E., & Quiroz, A. (2008). Allelopathic potential of *Eucalyptus* spp. plantations on germination and early growth of annual crops. *Allelopathy Journal*, 21(1), 225–236.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020*. FAO.
- Hodson, D. (2014). Becoming part of the solution: Learning about activism, learning through activism, learning from activism. In J. L. Bencze & S. Alsop (Eds.), *Activist science and technology education*. Springer.
- Hussain, M. I., El-Sheikh, M. A., Reigosa, M. J., & Rasool, N. (2020). Allelopathy and allelochemicals: Concepts, implications and applications in agroecosystems. *Plants*, 9(3), 1–30.
- Kress, G., & Van Leeuwen, T. (2006). *Reading images: The grammar of visual design* (2nd ed.). Routledge.
- Kröger, M. (2020). Forest plantations and the challenge of "green deserts". *Environmental Politics*, 29(4), 587–607.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831–879). Lawrence Erlbaum Associates.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.
- Meirelles, A. J. A., & Calazans, G. M. (2006). Os impactos socioambientais dos monocultivos de eucalipto no Brasil. *Revista NERA*, (9), 1–26.
- Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley.
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87(2), 224–240.

- Sasseron, L. H. (2015). Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: Relações entre ciências da natureza e escola. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(n. esp.), 49–67.
- Sasseron, L. H., & Carvalho, A. M. P. (2011). Alfabetização científica: Uma revisão bibliográfica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(1), 59–77.
- Sasseron, L. H., & Carvalho, A. M. P. (2011). Construindo argumentação na sala de aula: A presença do ciclo argumentativo e os indicadores de alfabetização científica. *Ciência & Educação*, 17(1), 97–114.
- Silva, K. E., Matos, F. D. A., & Ferreira, M. M. (2008). Composição florística e fitossociologia de espécies arbóreas do Parque Fenológico da Embrapa Amazônia Ocidental. *Acta Amazonica*, 38(2), 213–222.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal* (5ª ed.). Artmed.
- Tytler, R., Prain, V., & Hubber, P. (2013). Multimodal representations in science learning. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (2nd ed., pp. 403–424). Routledge.
- Zabala, A. (1998). *A prática educativa: Como ensinar*. Artmed.
- Zhou, A. (2018). Environmental conflicts and struggles for justice in Brazil. *Ambiente & Sociedade*, 21.