

JUSTICEEDUAL: ÍNDICE DE JUSTIÇA CLIMÁTICA ESCOLAR PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

Helena Sasseron Roberto Marcon¹

Marcos José Alves Pinto Junior^{1,2}

Vinicius Santos Andrade³

Lúcia Helena Sasseron⁴

¹ Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS/ helena.marcon@etec.sp.gov.br

² Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/ Faculdade de Ciências Aplicadas, mjapj@unicamp.br

³ Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino – UNIFAE, vinicius.andrade@prof.fae.br

⁴ Universidade de São Paulo – USP/ Faculdade de Educação, sasseron@usp.br

INTRODUÇÃO

A sociedade brasileira contemporânea está largamente organizada em torno de estruturas que reforcem desigualdades sociais (Souza, 2022) e que perpassam tanto o acesso a bens materiais quanto a bens culturais. Sob este cenário, preocupamo-nos com a forma como as pessoas têm acesso a informações considerando, especialmente, as possibilidades de análise das mesmas em uma perspectiva crítica (García-Carmona, 2025). Esta discussão se sustenta no ideal do desenvolvimento da alfabetização científica para a transformação social (Valladares, 2021) e, por isso, considera a necessidade de que a abordagem das ciências em sala de aula ocorra a partir de problemas reais vivenciados por estudantes e que, por serem sociais, são também complexos (Valladares, 2021; García-Carmona, 2025).

Nesse horizonte, compreendemos a alfabetização científica não apenas como domínio conceitual, mas como participação qualificada em práticas sociais mediadas pelas ciências, envolvendo análise crítica de evidências, tomada de decisão e ação coletiva diante de problemas que atravessam a vida cotidiana (Valladares, 2021). Essa perspectiva converge com discussões sobre pensamento científico e pensamento crítico como processos intelectuais distintos, porém intimamente articulados na educação em ciências (García-Carmona, 2025), o que tensiona propostas curriculares que se limitam à transmissão de conteúdos descontextualizados (García-Carmona, 2025; Valladares, 2021).

Muitas temáticas podem ser abordadas em sala de aula de maneira a permitir que estudantes tenham contato com o debate de temas sociais que envolvam as ciências em alguma perspectiva. Neste trabalho, nos pautamos nas mudanças climáticas e nos eventos extremos que surgem em decorrência, assim como também na percepção que estudantes têm sobre como as constantes e alarmantes desigualdades impactam de modo diferente pessoas e realidades distintas. Ao mobilizarmos o debate da justiça climática, assumimos que os efeitos da crise climática se distribuem de forma desigual, sendo atravessados por marcadores de raça, classe, gênero e território (Paes e Silva, 2012; Schlosberg; Collins, 2014; Ribeiro; Baggenstoss, 2023).

No contexto brasileiro, a noção de racismo ambiental explicita como populações negras, periféricas e povos tradicionais são desproporcionalmente expostos a riscos socioambientais, ao mesmo tempo em que têm menor acesso a mecanismos de proteção, participação política e reparação (Paes e Silva, 2012; Ribeiro; Baggenstoss, 2023). Esses debates vêm ganhando espaço em documentos normativos, como a Recomendação nº 123/2022 do Conselho Nacional de Justiça, que explicita a necessidade de considerar o racismo ambiental na interpretação de conflitos envolvendo meio ambiente e direitos humanos (Paes e Silva, 2012; Ribeiro; Baggenstoss, 2023).

Apesar disso, relatórios internacionais indicam que a educação escolar ainda incorpora de forma incipiente tanto a crise climática quanto suas dimensões de justiça. Estudo recente da UNESCO mostra que muitos currículos nacionais mencionam mudanças climáticas apenas de forma pontual e predominantemente em disciplinas de ciências naturais, com pouca atenção às dimensões sociais, políticas e éticas do problema (UNESCO, 2021).

Neste cenário, apresentamos o protótipo JusticeEduAI, que busca desenvolver um Índice de Justiça Climática Escolar (IJCE), incorporando técnicas de Inteligência Artificial (IA) para identificar, em uma realidade escolar específica, vulnerabilidades percebidas por estudantes com o intuito de propor estratégias de mitigação personalizadas. O objetivo do presente trabalho é discutir o JusticeEduAI como ferramenta para informar a professores de ciências sobre conhecimentos que seus estudantes tenham sobre justiça climática e, a partir disso, permitir que organizem estratégias didáticas para abordar o tema em sala de aula, em particular sob a perspectiva do Ensino de Ciências por Investigação (EnCI). Ao articular dados gerados pelo índice com os domínios do conhecimento científico, buscamos evidenciar possibilidades de planejamento de sequências investigativas que aproximem a discussão de justiça climática das experiências concretas dos estudantes em seus territórios escolares.

JUSTICEEDUAI: AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE JUSTIÇA CLIMÁTICA ESCOLAR

Esta proposta está em desenvolvimento e ainda não foi implementada com a finalidade aqui exposta. Situamos o projeto na interface entre Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação, justiça climática e Ensino de Ciências por Investigação, entendendo que tais campos se fortalecem quando articulados em torno de problemas reais e socialmente relevantes.

O JusticeEduAI consiste em um ambiente computacional que integra a construção de um Índice de Justiça Climática Escolar (IJCE) com técnicas de Inteligência Artificial voltadas à análise de dados educacionais (Ramli; Mahmud, 2025). O IJCE combina indicadores objetivos e subjetivos relacionados ao acesso e à participação dos estudantes em práticas sustentáveis, uso e gestão de recursos na escola, bem como seus níveis de engajamento e de percepção sobre justiça climática (Topkaya et al., 2025). Esses indicadores são alimentados por questionários respondidos por

estudantes, registros institucionais e informações descritivas sobre a infraestrutura e a organização escolar (Moore; Tsay, 2024).

A elaboração do LJCE apoia-se em referenciais da justiça ambiental e climática que enfatizam, entre outros aspectos, a distribuição equitativa de riscos e benefícios socioambientais, o reconhecimento de grupos historicamente vulnerabilizados e a participação efetiva desses grupos em processos decisórios (Paes e Silva, 2012; Schlosberg; Collins, 2014; Ribeiro; Baggenstoss, 2023). Assim, o índice é estruturado em dimensões que procuram captar: (i) acesso a recursos sustentáveis (por exemplo, participação em projetos de sustentabilidade, uso de espaços verdes, acesso a tecnologias de baixo impacto); (ii) oportunidades de participação (convites e incentivos para engajamento em ações relacionadas ao clima e ao ambiente); (iii) engajamento efetivo em práticas sustentáveis; (iv) letramento socioambiental; e (v) percepções de justiça climática no cotidiano escolar (Paes e Silva, 2012; Ribeiro; Baggenstoss, 2023).

Do ponto de vista analítico, as respostas são inicialmente normalizadas e organizadas em um índice composto, combinando procedimentos estatísticos (como análise de componentes principais) com algoritmos de Inteligência Artificial voltados à identificação de padrões de desigualdade interna, agrupando estudantes com perfis semelhantes de acesso, participação e vulnerabilidade. O uso da IA, nesse contexto, não se restringe à automatização de cálculos, mas busca apoiar processos de diagnóstico dinâmico e geração de recomendações: a partir dos padrões identificados, o sistema pode sugerir grupos prioritários para intervenção, bem como apontar dimensões específicas (por exemplo, participação ou infraestrutura) nas quais a escola apresenta maiores assimetrias (Reina-Parrado et al., 2025; Verghese et al., 2025). Essa abordagem dialoga com orientações recentes que defendem o uso crítico e responsável da IA na educação, enfatizando transparência, equidade e respeito aos direitos humanos (Miao et al., 2021; Azevedo; Santos, 2025).

No contexto da escola em que o projeto será implementado, o JusticeEduAI pretende produzir relatórios de fácil leitura para professores, equipe gestora e estudantes, sinalizando, por exemplo, quais turmas ou grupos apresentam menores índices de justiça climática, quais tipos de recursos sustentáveis estão concentrados em certos espaços escolares e quais percepções de injustiça são mais recorrentes. Em vez de oferecer respostas prontas, o sistema é concebido como dispositivo disparador de investigações, de forma que as informações geradas possam orientar a formulação de questões investigativas pelos próprios estudantes e professores, bem como a escolha de problemas a serem explorados em sequências de ensino.

Além disso, o JusticeEduAI se propõe a ser replicável em outras instituições, permitindo comparações entre escolas com perfis distintos e fomentando discussões sobre justiça climática em redes de ensino. Ao articular dados empíricos localizados a referenciais internacionais em educação científica e justiça climática, o índice busca contribuir para a construção de políticas

escolares mais equitativas e para o fortalecimento da participação estudantil em decisões relacionadas ao clima e ao ambiente.

ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA, ENSINO POR INVESTIGAÇÃO E A JUSTIÇA CLIMÁTICA

Estamos conscientes de que o tema da Justiça Climática é amplo, complexo e interdisciplinar. Por isso mesmo nos parece adequado de ser abordado quando se almeja desenvolver a alfabetização científica (AC) na perspectiva da transformação social (Valladares, 2021). O ensino por investigação pode colaborar com o desenvolvimento da AC a partir de situações didáticas planejadas para o envolvimento de estudantes com elementos da prática científica para além dos conceitos, e, assim, dão atenção aos domínios do conhecimento científico (Duschl, 2008; Stroupe, 2014). Estes domínios do conhecimento científico (DCC) exploram o domínio conceitual (DC), voltado ao trabalho com conceitos, leis e teorias das ciências, bem como os processos cognitivos utilizados para raciocinar cientificamente; o domínio epistêmico (DE), voltado para as ações voltadas a sustentar propostas de conhecimento; o domínio social (DS), associado a regras e valores envolvidos na prática científica; e o domínio material (DM), vinculado a artefatos físicos e intelectuais desenvolvidos com a intenção de colaborar com a atividade intelectual científica.

Tendo como foco o planejamento de propostas didáticas pautadas no desenvolvimento da AC por meio do ensino por investigação, pautamo-nos na proposta de Sasseron e Orofino (2025) para considerar como domínios do conhecimento científico podem ser abordados em aulas do Ensino Médio em que o tema seja abordado.

Figura 1. Mobilização de domínios do conhecimento científico no Ensino Médio.

Nível	DC	DE	DS	DM
Ensino Médio	Identificar fenômenos novos que podem ser explicados por um conceito conhecido.	Justificar os modos de investigar propostos para resolver um problema a partir de argumentos que considerem a exequibilidade de processos físicos ou a coerência dos processos mentais; avaliar evidências anômalas como possibilidade para novas investigações.	Avaliar modos de análise de situações considerando a reprodutibilidade e a adequação à situação.	Avaliar a existência de dados anômalos na relação com o tipo de material e procedimento utilizados para a investigação; estabelecer expressões algébricas que sintetizem a explicação de um fenômeno.

Fonte: Adaptado de Sasseron e Orofino (2025)

Compreendemos que o JusticeEduAI pode colaborar para a ponderação sobre como cada DCC pode ser mobilizado em prol do desenvolvimento da AC em discussões sobre justiça climática.

De modo objetivo, em relação ao domínio conceitual, considerando a possibilidade de que estudantes identifiquem fenômenos que podem ser explicados por um conceito já conhecido (Sasseron; Orofino, 2025), entendemos que o JusticeEduAI pode fornecer indicações de quais conceitos já são conhecidos pelos estudantes considerando conceitos como a importância do equilíbrio termodinâmico do planeta para a manutenção da vida, o que implica reconhecer conceitos

como calor, temperatura e alteração nos padrões climáticos em decorrência de mudança na temperatura média do planeta. Também é possível discutir a responsabilidade das emissões advindas do uso de combustíveis fósseis para o aumento da temperatura da Terra, bem como a desigualdade contribuição de diferentes países para estas emissões. Cria-se, assim, caminho para o debate sobre ações antrópicas que influenciam no problema e a identificação de quais são os locais, países e pessoas mais afetados pelas mudanças climáticas como modo de discutir racismo ambiental (Paes e Silva, 2012; Ribeiro; Baggenstoss, 2023).

Considerando o domínio epistêmico, a partir da identificação de conhecimentos e de problemas conceituais dos estudantes, JusticeEduAI pode colaborar com indicações sobre quais investigações podem ser possíveis. Assim, por exemplo, se os estudantes não reconhecem de que modo as mudanças climáticas afetam sua realidade próxima, podem ser feitas investigações sobre eventos climáticos extremos ocorridos no entorno e a forma como eles impactaram a vida da comunidade; bem como avaliar mudanças em hábitos da população que evidenciam consequências advindas do aquecimento global como, por exemplo, alteração no plantio e colheita de alimentos e migração populacional. Tais informações e fatos podem, inclusive, trazer contribuições para novas investigações e para atuação em projetos e ações coletivas como forma de atenção e prevenção a consequências de eventos climáticos extremos.

Em relação ao domínio social, a abordagem do tema Justiça Climática pode acontecer em dois panoramas distintos e complementares. Um deles é a discussão de dados e evidências existentes nas ciências que permitem sustentar a influência humana para o aquecimento global e como isso implica em mudanças climáticas para o planeta. O outro panorama está associado ao próprio trabalho investigativo dos estudantes para a obtenção de dados, análise e validação coletivas de ideias explicativas e de procedimentos metodológicos. Com esta abordagem pode ser possível compreender nuances da atividade científica como prática social (Longino, 1990; 2002).

Já para o domínio material do conhecimento científico, as informações fornecidas pelo JusticeEduAI podem colaborar para compreender como os estudantes consideram informações coletadas e o papel da incerteza do conhecimento científico, da imprecisão em medidas e da influência de equipamentos nos dados coletados para a construção de explicações em ciências.

Entendemos que há muitas formas de injustiça presentes na vida das pessoas. Embora soluções para isso demandem esforços de distintos âmbitos, concebemos o papel da educação como fomentadora de pensamento crítico que auxilie na análise destas situações (García-Carmona, 2025). Ao trabalharmos com informações obtidas pelo JusticeEduAI e com o planejamento didático considerando os domínios do conhecimento científico, buscamos possibilidades de contribuição para os processos de mitigação destas injustiças e, também, nas formas de acesso à formação em ciências. Isso porque a estrutura social de um país como o Brasil é marcada por desigualdades

estruturais que se mantêm em função de uma meritocracia que legitima o lugar social de pessoas "condenadas à própria sorte", organizando-as, como afirma Souza (2022), na ralé como estrato social desprovido de condição de autonomia para garantir as mínimas necessidades para a vida digna.

Ao considerarmos o contexto brasileiro, essa compreensão se entrelaça com a ideia de racismo ambiental (Paes e Silva, 2012) que, com vistas a relacionar a dimensão ambiental às desigualdades estruturais, denuncia a desigualdade contribuição nos processos de tomada de decisão e de participação em processos de mitigação dos efeitos da crise que vivemos. O racismo ambiental, ao ser apresentado como forma de materializar no debate climático as desigualdades raciais e de classe, é importante nesta discussão por nos permitir pensar os direitos ambientais como direitos humanos (Ribeiro; Baggenstoss, 2023).

Nesse contexto de injustiças, conectamos à justiça climática a ideia de justiça ambiental quando temos em vista a necessidade de ampliar o debate sobre a crise climática articulando-o às desigualdades sociais com foco no contexto de impactos que recaem sobre grupos vulnerabilizados e nas desigualdades estruturais (Guedes et al., 2024). O JusticeEduAI busca, portanto, contribuir para identificar e evidenciar injustiças, com vistas ao seu enfrentamento, tendo em vista que as desigualdades socioambientais atingem pessoas e comunidades de formas assimétricas, como apontam Paes e Silva (2012) e Ribeiro e Baggenstoss (2023).

Diante desses debates teóricos chegamos à proposta deste trabalho, que está em processo de construção, como afirmado anteriormente, e pretende articular o JusticeEduAI a processos de ensino por investigação que se preocupem com o contexto da justiça climática a partir de domínios do conhecimento científico.

Assim, o JusticeEduAI será a base para o desenvolvimento das discussões em sala de aula, por meio da construção de sequências de ensino investigativas que considerem, sobretudo, os domínios de conhecimento científico propostos por Silva e Sasseron (2021) e Sasseron e Orofino (2025). Com base nas dimensões do IJCE, professores e estudantes poderão selecionar recortes investigativos: por exemplo, explorar por que determinados grupos têm menor acesso a espaços verdes na escola (domínio material), quais conceitos físicos e biológicos ajudam a compreender ondas de calor e ilhas de calor urbano (domínio disciplinar), como diferentes práticas de produção de conhecimento sobre o clima são validadas ou deslegitimadas (domínio epistemológico) e quais disputas políticas e históricas estruturam o racismo ambiental em seus territórios (domínio social).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este texto, buscamos realizar um movimento que articule discussões teóricas sobre alfabetização científica, justiça climática e domínios do conhecimento científico à construção do JusticeEduAI, um instrumento inovador de diagnóstico escolar, potencialmente articulado a

propostas de Ensino de Ciências por Investigação. Ao descrever a lógica do Índice de Justiça Climática Escolar e suas dimensões, bem como sugestões de uso pedagógico dos dados gerados, pretendemos contribuir para o debate sobre como integrar questões de justiça climática às práticas de sala de aula.

Esperamos que a proposta possa contribuir com o desenvolvimento da alfabetização científica de estudantes no contexto de intensas mudanças climáticas e de uma realidade de injustiças socioambientais que atravessam de forma distinta territórios e populações. Entendemos que o uso do JusticeEduAI, se conduzido de forma ética e dialógica, pode auxiliar professores de ciências a planejar sequências investigativas mais sensíveis às desigualdades internas às escolas e, ao mesmo tempo, promover espaços de participação estudantil na problematização e proposição de estratégias de mitigação e adaptação climática em seu cotidiano escolar.

AGRADECIMENTOS

A primeira, o segundo e o terceiro autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino (UNIFAE) para a viabilização desta pesquisa. A quarta autora agradece, ainda, ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo nº 306683/2022-9).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, Nathalia H.; Santos, Paulo Gabriel F. dos, Primazia da dimensão utilitária e recuo crítico: inteligência artificial generativa e os valores em disputa na ciência. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, 27, 1-22, 2025. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-2117-59484>
- Duschl, Richard A. Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. **Review of Research in Education**, v. 32, n. 1, p. 268-291, 2008. DOI: 10.3102/0091732X07309371
- García-Carmona, Antonio. Scientific thinking and critical thinking in science education: Two distinct but symbiotically related intellectual processes. **Science & Education**, 34(1), 227-245, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00460-5>
- Guedes, Walef Pena; Branchi, Bruna Angela; Sugahara, Cibele Roberta; Ferreira, Denise Helena Lombardo. Gender-based climate (in)justice: An overview. **Environmental Science & Policy**, v. 162, p. 103934, 2024. DOI: 10.1016/j.envsci.2024.103934.
- Miao, Fengchun; Holmes, Wayne; Huang, Ronghuai; Zhang, Hui. **AI and education: guidance for policy-makers**. Paris: UNESCO, 2021. DOI: 10.54675/PCSP7350. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>
- Moore, Willie; Tsay, Li-Shiang. From Data to Decisions: Leveraging AI for Proactive Education Strategies. **International Conference on AI Research**, 2024. DOI: 10.34190/icair.4.1.3082.

- Paes e Silva, Lays H. Ambiente e justiça: sobre a utilidade do conceito de racismo ambiental no contexto brasileiro, **e-cadernos CES**, p. 85-111, 2012. Disponível em: <http://journals.openedition.org/eces/1123>
- Ramli, Norazah N.; Mahmud, Siti N. D. Integration of Artificial Intelligence to Support Inquiry-Based Science Teaching and Learning: A Systematic Literature Review. **International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development**, v. 14, n. 2, p. 893–911, 2025. DOI: 10.6007/ijarped/v14-i2/25380.
- Reina-Parrado, María José; Román-Graván, Pedro; Hervás-Gómez, Carlos. Integration of artificial intelligence and machine learning in education: A systematic review. **International Journal of Educational Methodology**, v. 11, n. 2, p. 203-216, 2025. DOI: 10.12973/ijem.11.2.203.
- Ribeiro; Adilson P.; Baggenstoss, Grazielly A. Racismo ambiental no Brasil: mecanismos de proteção de direitos humanos e a recomendação n. 123/2022 do Conselho Nacional de Justiça. **Captura Críptica: direito, política, atualidade**, Florianópolis, v. 12, n. 1, p. 249–268, 2023. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/capturacriptica/article/view/5846>.
- Sasseron, Lúcia Helena; Orofino, Rena de Paula. Alfabetização científica na perspectiva das Ciências da Natureza. **Revista Brasileira de Educação em Geografia**, v. 15, p. 5-23, 2025. Disponível em: <https://www.revistaedugeo.com.br/revistaedugeo/article/view/1522/675>
- Schlosberg, David; Collins, Lisbeth. From environmental to climate justice: Climate change and the discourse of environmental justice. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 5, n. 3, p. 359-374, 2014. DOI: 10.1002/wcc.275.
- Souza, Jessé, **A ralé brasileira: quem é e como vive**. São Paulo: Civilização Brasileira, 2022.
- Stroupe, David. Examining classroom science practice communities: How teachers and students negotiate epistemic agency and learn science-as-practice. **Science Education**, v. 98, n. 3, p. 487-516, 2014. DOI: 10.1002/sce.21112
- Topkaya, Yasin; Doğan, Yasemin; Batdı, Veysel; Aydın, Selim. Artificial Intelligence Applications in Primary Education: A Quantitatively Complemented Mixed-Meta-Method Study. **Sustainability**, v. 17, n. 7, p. 3015, 2025. DOI: 10.3390/su17073015.
- UNESCO. **Getting every school climate-ready: how countries are integrating climate change issues in education**. Paris: UNESCO, 2021. DOI: 10.54675/NBHC8523. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379591/PDF/379591eng.pdf.multi>
- Valladares, Liliana. Scientific Literacy and Social Transformation. **Science & Education**, v. 30, p. 557-587, 2021. DOI: [10.1007/s11191-021-00205-2](https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2)
- Verghese, B. G.; Iyer, C.; Borse, T.; et al. Modern artificial intelligence and large language models in graduate medical education: a scoping review of attitudes, applications & practice. **BMC Medical Education**, v. 25, p. 730, 2025. DOI: 10.1186/s12909-025-07321-5.