

A UTILIZAÇÃO DA VISÃO COMPUTACIONAL NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE ALUNOS COM DEFICIÊNCIA INTELECTUAL

Thamires Silva Martins

Universidade de São Paulo (USP)

thamiresmartinsms@outlook.com - <http://lattes.cnpq.br/7422474565097183>

Moisés de Moura Andrade

Faculdades Londrina

assess.juridica.imobiliaria@gmail.com - <https://lattes.cnpq.br/6188681545521763>

Wallace Silva Bismark

Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT)

wallacebismark@gmail.com - <http://lattes.cnpq.br/4119834777860360>

Resumo: Este artigo apura o potencial da visão computacional como ferramenta de apoio no processo de ensino-aprendizagem de alunos com deficiência intelectual. Com o avanço das tecnologias assistivas, novas possibilidades têm emergido para promover a inclusão e a personalização do ensino, especialmente para estudantes que enfrentam desafios cognitivos. A pesquisa tem como objetivo analisar como sistemas baseados em visão computacional podem ser aplicados em ambientes educacionais, identificando benefícios, limitações e boas práticas. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica e exploratória, complementada com estudos de caso envolvendo o uso de softwares que utilizam reconhecimento de imagem, rastreamento de movimento e interação por gestos. Os resultados indicam que a visão computacional pode contribuir significativamente para o engajamento, a autonomia e o desenvolvimento cognitivo desses alunos, desde que seja acompanhada por estratégias pedagógicas adequadas, suporte técnico e políticas públicas. Conclui-se que a integração entre tecnologia, inteligência artificial e educação especial requer uma abordagem interdisciplinar, envolvendo educadores, desenvolvedores e especialistas em inclusão, para garantir a eficácia e a acessibilidade das soluções propostas.

Palavras-chave: Aprendizagem mediada por tecnologia. Deficiência intelectual. Educação inclusiva. Tecnologias assistivas. Visão computacional.

Abstract: This article examines the potential of computer vision as a tool to support the teaching-learning process of students with intellectual disabilities. With the advancement of assistive technologies, new possibilities have emerged to promote inclusion and personalized teaching, especially for students who face cognitive challenges. The research aims to analyze how systems based on computer vision can be applied in educational environments, identifying benefits, limitations, and good practices. To this end, an exploratory bibliographic review was carried out, complemented by case studies involving the use of software that uses image recognition, movement tracking, and gesture interaction. The results

indicate that computer vision can significantly contribute to the engagement, autonomy, and cognitive development of these students, as long as it is accompanied by appropriate pedagogical strategies, technical support, and public policies. It is concluded that the integration of technology, artificial intelligence, and special education requires an interdisciplinary approach, involving educators, developers, and inclusion specialists, to ensure the effectiveness and accessibility of the proposed solutions.

Keywords: *Technology-mediated learning. Intellectual disability. Inclusive education. Assistive technologies and Computer vision.*

INTRODUÇÃO

A educação inclusiva vem demandando, nas últimas décadas, o desenvolvimento e a implementação de tecnologias que promovam a aprendizagem significativa para todos, especialmente para alunos com deficiência intelectual. Nesse contexto, a utilização de recursos tecnológicos, como as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), figura como importante ferramenta de mediação pedagógica e apoio ao processo de ensino-aprendizagem, contribuindo para a superação de barreiras e para a promoção da inclusão escolar. Entre as inovações tecnológicas, a visão computacional¹ desponta como um campo emergente e promissor.

Trata-se de um ramo da inteligência artificial que permite a computadores interpretar e processar imagens do mundo real, possibilitando desde o reconhecimento de objetos até a análise de expressões faciais. Essa tecnologia suscita novas possibilidades no campo educacional, especialmente quanto à adaptação de conteúdos e à personalização do ensino para alunos com deficiência intelectual, como a NeuronUp² já vem fazendo há alguns anos, e softwares educativos baseados em visão computacional podem favorecer tanto o engajamento quanto o desenvolvimento cognitivo desses alunos, ao ofertar interações mais dinâmicas, multissensoriais e adaptadas às necessidades individuais, como no caso do IncluIF³.

¹ Visão computacional: campo interdisciplinar da ciência da computação que se dedica ao desenvolvimento de métodos e sistemas capazes de adquirir, processar, analisar e compreender imagens e vídeos do mundo real, de modo semelhante à visão humana, com a utilização de algoritmos e modelos matemáticos.

² NeuronUp: plataforma virtual destinada a profissionais da saúde que visa à reabilitação e estimulação cognitiva dos pacientes.

³ IncluIF: Projeto de extensão realizado em parceria com a Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE) e Instituto Federal de São Paulo.

Entretanto, vale ressaltar que tais recursos exigem formação adequada dos professores e uma análise criteriosa de suas potencialidades e limitações no cotidiano escolar. Diante desse panorama, este artigo delimita-se à análise de como a visão computacional pode ser aplicada como ferramenta pedagógica para potencializar o processo de ensino-aprendizagem de alunos com deficiência intelectual, investigando suas contribuições quanto à promoção da inclusão, ao aumento do engajamento e ao desenvolvimento cognitivo. Assim, questiona-se: a visão computacional pode favorecer o desenvolvimento cognitivo e a autonomia de alunos com deficiência intelectual em ambientes escolares?

Para responder a essa questão, o objetivo geral deste estudo consiste em analisar de que forma a visão computacional pode ser empregada como instrumento pedagógico, promovendo a inclusão, o engajamento e o desenvolvimento cognitivo dos alunos com deficiência intelectual. Para melhor situar o leitor, este trabalho está organizado em capítulos que abordam os conceitos de deficiência intelectual e ensino inclusivo, fundamentos e aplicações da visão computacional, metodologia, proposta de implementação e análise dos impactos da tecnologia no contexto escolar.

1. DESENVOLVIMENTO

1.1 Deficiência intelectual: características e desafios no processo educativo

A deficiência intelectual (DI) constitui-se como uma condição do neurodesenvolvimento caracterizada por limitações substanciais tanto no funcionamento intelectual quanto no comportamento adaptativo, manifestando-se antes dos 18 anos de idade. Para o diagnóstico, consideram-se não apenas resultados de testes de quociente de inteligência ($QI \leq 70$), mas sobretudo a análise de capacidades adaptativas em contextos sociais, comunicativos e de autocuidado (MSD, 2024; Apae Limeira, 2024).

O funcionamento adaptativo, segundo parâmetros amplamente aceitos pela literatura científica, engloba habilidades práticas, sociais e conceituais necessárias para a participação autônoma e segura no coti-

diano. Entre os domínios avaliados, destacam-se a comunicação, interação social, gestão de recursos, autodireção, lazer, saúde e segurança. Nesse contexto, a gravidade da deficiência intelectual é classificada segundo o nível de suporte requerido pelo indivíduo, que pode variar de intermitente a pervasivo (MSD, 2024).

Do ponto de vista do desenvolvimento cognitivo, os indivíduos com DI exibem dificuldades em processos como raciocínio, resolução de problemas, planejamento e pensamento abstrato. Tais déficits refletem-se, de modo significativo, no desempenho escolar, tornando desafiadora a aquisição de conteúdos acadêmicos, habilidades de leitura, matemática e compreensão verbal (Seven Publicações, 2023). Quanto ao aspecto social, limitações adaptativas impactam negativamente as interações interpessoais, a comunicação funcional e a integração em diferentes esferas comunitárias, frequentemente resultando em isolamento e vulnerabilidades emocionais (Instituto Neurosaber, 2023).

Soma-se a isso a presença de atrasos motores, déficits na aquisição da linguagem e, por vezes, condições associadas como transtornos do espectro autista, dificuldades sensoriais e problemas de saúde física. Essas condições multifatoriais exigem avaliação diagnóstica multidisciplinar criteriosa, considerando variáveis contextuais, ambientais e culturais (Neurológica, 2023).

Vale salientar que a formação inicial e em serviço do professor revela-se central para o sucesso dessas práticas. Docentes preparados são capazes de identificar sinais de deficiência intelectual precocemente, articular-se em equipes multidisciplinares, dialogar com famílias e aplicar estratégias pedagógicas eficazes e inclusivas (Apaie Limeira, 2024). Assim, a inclusão escolar ultrapassa a presença física do aluno nas salas regulares, exigindo políticas institucionais de apoio e desenvolvimento permanente de competências profissionais.

No cenário brasileiro, observa-se, a partir de 2021, um avanço nas políticas públicas voltadas à inclusão escolar de pessoas com deficiência intelectual. Leis e diretrizes nacionais garantem não apenas a matrícula e permanência em escolas comuns, mas também o acesso a adaptações, atendimento educacional especializado, recursos de acessibilidade, formação docente e participação social ampla. Contudo, desafios persistem, especialmente no que tange à garantia de efetiva aprendizagem,

superação de barreiras atitudinais e consolidação de práticas pedagógicas inovadoras.

Em síntese, a deficiência intelectual apresenta-se como fenômeno complexo, cujos desafios no processo educativo perpassam questões diagnósticas, curriculares, formativas e sociais. O compromisso com a inclusão demanda ações integradas e construção contínua de saberes, capazes de materializar o direito à educação com qualidade, equidade e respeito à diversidade. O ensino inclusivo representa um avanço fundamental no contexto educacional contemporâneo ao buscar garantir a participação efetiva de estudantes com deficiência intelectual em ambientes escolares regulares. Segundo Borges e Tartuci (2018, p. 14), tal proposta propicia “não apenas o acesso físico à escola, mas, sobretudo, a efetiva aprendizagem e integração social dos alunos, valorizando suas potencialidades e promovendo a equidade de oportunidades”.

Nesse cenário, as tecnologias assistivas têm assumido papel central, pois integram recursos, serviços e estratégias capazes de potencializar as habilidades dos alunos com deficiência intelectual e minimizar barreiras que restringem seu desenvolvimento e autonomia (Galvão Filho, 2021). Dentre as opções disponíveis, destacam-se dispositivos e softwares que facilitam a comunicação alternativa, leitores de tela, teclados adaptados, materiais táteis e até sistemas de automação para interação com o ambiente. A disponibilidade e o uso desses instrumentos promovem maior independência, inclusão efetiva e engajamento no processo de ensino-aprendizagem, além de promoverem adaptações curriculares mais flexíveis e responsivas às necessidades individuais.

1.2 Tecnologias Assistivas e Educação Inclusiva

O ensino inclusivo destaca-se, no cenário educacional brasileiro contemporâneo, como fundamental para a construção de uma sociedade democrática e plural, ao buscar garantir não apenas o acesso, mas a efetiva participação e o sucesso escolar de todos os estudantes, incluindo aqueles com deficiência intelectual. Nesse contexto, as tecnologias assistivas emergem como elementos centrais para a eliminação de barreiras e a promoção de uma aprendizagem significativa, personalizada e equitativa (Editora Opet, 2022; Galvão Filho, 2021).

Segundo a literatura especializada, tecnologias assistivas compreendem produtos, recursos, estratégias e serviços capazes de aumentar, manter ou melhorar as habilidades funcionais de pessoas com deficiência. Na educação, incluem-se desde dispositivos e softwares de leitura de tela, sintetizadores de voz, teclados adaptados e materiais multissensoriais, até plataformas digitais acessíveis e sistemas baseados em inteligência artificial – configurando-se como mediadoras essenciais da inclusão (Editora Opet, 2022).

No panorama brasileiro, importantes avanços legislativos e programáticos impulsionaram políticas públicas para a democratização do ensino inclusivo, como a Lei Brasileira de Inclusão (Lei nº 13.146/2015) e a Política Nacional de Educação Especial, que estabelecem a obrigatoriedade de oferta de recursos de acessibilidade, atendimento educacional especializado e capacitação docente (Brasil, 2015; PNTA, 2023). Além disso, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) assegura a adaptação curricular e de metodologias instrucionais, fomentando respostas educacionais flexíveis às singularidades dos alunos (Brasil, 1996).

Os benefícios advindos da inserção de tecnologias assistivas nas práticas escolares são diversos e amplamente documentados. Entre eles, destaca-se o aumento da participação ativa dos estudantes com deficiência intelectual, a personalização do ensino de acordo com necessidades e potencialidades específicas, a promoção da independência funcional e comunicativa, bem como a possibilidade de elaboração de avaliações adaptadas e atividades colaborativas (Borges; Tartuci, 2018).

Contudo, a implementação efetiva dessas tecnologias na escola enfrenta desafios consideráveis. Muitas redes de ensino ainda apresentam limitações quanto à infraestrutura tecnológica, carência de recursos financeiros para a aquisição de equipamentos, ausência de materiais acessíveis em língua portuguesa e insuficiente formação continuada de professores para o uso pedagógico criativo desses dispositivos (Editora Opet, 2022; Ferreira, 2022). Tais fatores podem restringir o alcance e o impacto das políticas inclusivas, especialmente em regiões de maior vulnerabilidade social.

Destaca-se que exemplos de práticas exitosas demonstram, entretanto, o potencial inovador das tecnologias assistivas no cotidiano esco-

lar. Softwares de leitura de tela e ampliadores de fonte permitem o acesso pleno de alunos com deficiência visual ao conteúdo curricular. Plataformas de ensino online com recursos de legendas automáticas e intérpretes de Libras ampliam a acessibilidade para estudantes surdos ou com dificuldades de comunicação oral. Teclados e mouses adaptados, assim como ambientes digitais multissensoriais, favorecem a autonomia de alunos com deficiência motora ou múltiplas deficiências (Viaje com Acessibilidade, 2024).

1.3 Fundamentos da visão computacional

A visão computacional é um dos ramos mais dinâmicos e interdisciplinares da ciência da computação e da inteligência artificial, sendo responsável por dotar máquinas da capacidade de perceber, interpretar e compreender conteúdos visuais do mundo físico, tais como imagens e vídeos. Fundamenta-se no pressuposto de que os computadores podem, mediante técnicas matemáticas sofisticadas, processar e extrair informações relevantes de dados visuais, aproximando-se, em certa medida, da forma como o sistema visual humano opera (Datacamp, 2023).

Historicamente, os primeiros esforços na área remontam à década de 1960, quando pesquisadores buscavam automatizar tarefas de reconhecimento de formas e padrões simples. Com o avanço dos recursos computacionais e o desenvolvimento de algoritmos de aprendizado profundo, sobretudo a partir da década de 2010, a visão computacional ganhou robustez, ampliando suas possibilidades e conquistas em diversas esferas de aplicação.

O processo de visão computacional envolve basicamente duas etapas iniciais: a aquisição e o processamento da imagem. A etapa de aquisição refere-se à captação dos dados visuais por meio de sensores ou câmeras digitais, enquanto o processamento diz respeito ao tratamento desses dados, eliminando ruídos, destacando características relevantes e preparando o material para análises subsequentes.

Entre os principais conceitos técnicos da área, destacam-se:

Quadro 1 - Conceitos técnicos essenciais

Tópico	Descrição Técnica	Emprego
Extração e Detecção de Características	Consiste na identificação de pontos ou regiões de interesse em uma imagem, como bordas, cantos ou texturas. Algoritmos clássicos como SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) e SURF (Speeded-Up Robust Features) são amplamente utilizadas como base para tarefas de reconhecimento de objetos.	Reconhecimento de gestos para interação com lousas digitais ou recursos multimídia; Rastreamento de atenção e postura dos alunos para apoiar professores no acompanhamento individualizado; Reconhecimento facial para controle de presença automatizado.
Classificação de Imagens	Envolve a atribuição automática de rótulos a imagens com base em suas características visuais. Enquanto métodos tradicionais utilizavam descritores manuais, as Convolutional Neural Networks (CNNs) permitiram o aprendizado direto dos padrões visuais a partir dos dados, revolucionando essa tarefa.	Jogos educativos com interação por movimento ou objetos físicos reconhecidos pela câmera; Atividades sensoriais com resposta visual automatizada conforme a ação da criança (ex.: piscar luzes, sons).
Segmentação	Refere-se ao particionamento de uma imagem em regiões com significado semântico, como separar objetos do fundo. Técnicas modernas, especialmente aquelas baseadas em aprendizado profundo , possibilitam segmentações mais precisas e eficientes, inclusive em tempo real.	Monitoramento da atenção e engajamento por meio de análise facial e ocular durante videoaulas; Avaliação automática de atividades visuais enviadas pelos alunos, como desenhos ou objetos construídos; Reconhecimento de sinais ou expressões em videochamadas para inclusão de alunos com necessidades específicas.
Reconhecimento e Rastreamento	Engloba desde o reconhecimento de faces, objetos ou gestos até o acompanhamento de seus movimentos ao longo de sequências de vídeo. Essas técnicas são fundamentais para aplicações que exigem interação contínua com o ambiente visual.	Ferramentas adaptativas que reconhecem expressões faciais e emoções para ajustar o ritmo e o estilo de ensino; Sistemas que interpretam gestos ou movimentos para comunicação alternativa com alunos não verbais; Monitoramento de reações a estímulos visuais para avaliar o progresso cognitivo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A ascensão do *deep learning* potencializou sobremaneira o desempenho dos sistemas de visão computacional. As Redes Neurais Convolucionais, em particular, destacam-se como o principal modelo para reconhecimento de padrões visuais, sendo utilizadas em tarefas como detecção de objetos, identificação de emoções faciais, leitura automática de placas de veículos, entre outras (Datacamp, 2023).

Além disso, o conceito de *transfer learning* permite que redes previamente treinadas em grandes bases de dados, como *ImageNet*, sejam adaptadas com eficiência para contextos específicos com quantidades reduzidas de amostras, tornando a tecnologia acessível mesmo em cenários de restrição de recursos, pois os fundamentos da visão computacional não se limitam ao reconhecimento visual per se, mas abrangem

também a compreensão contextual do ambiente, a integração com outras modalidades sensoriais e a capacidade de tomar decisões baseadas nos resultados das análises visuais.

Esse avanço proporciona aplicações inovadoras já existentes, como nas áreas de medicina (diagnóstico por imagem), indústria (inspeção automatizada de qualidade), agricultura (monitoramento de lavouras), segurança (sistemas de vigilância inteligente), educação e inclusão, ampliando substancialmente as possibilidades de estruturação de ambientes digitais adaptativos.

Dessa maneira, compreender os fundamentos da visão computacional é essencial para discutir suas potencialidades pedagógicas e seu papel estratégico no apoio à inclusão escolar de alunos com deficiência intelectual. A área se impõe como ponte entre o conhecimento tecnológico e as demandas sociais por acessibilidade, autonomia e protagonismo, sendo uma das principais vertentes da inovação educacional contemporânea.

Nesse cenário de constantes avanços, destaca-se que a aplicabilidade da visão computacional na educação inclusiva vem sendo objeto de análise por diferentes pesquisadores, sobretudo no que diz respeito ao seu impacto sobre o desenvolvimento cognitivo e à personalização de estratégias pedagógicas para alunos com deficiência intelectual. Estudos apontam que recursos baseados em visão computacional, como aplicativos que reconhecem objetos e promovem interatividade por meio de realidade aumentada, contribuem para tornar o processo de aprendizagem mais acessível e envolvente, especialmente ao utilizarem estímulos visuais e auditivos em tarefas cotidianas (Ferreira, 2014; Giannini, 2023).

Entre as experiências relatadas no campo educacional, sistemas de reconhecimento de objetos, ambiente e expressões podem ser integrados ao ensino de conceitos matemáticos, alfabetização e desenvolvimento de atividades de vida diária. Tais ferramentas promovem o engajamento, facilitam a compreensão de conteúdos abstratos e oferecem apoio à comunicação alternativa, recurso de extrema relevância para estudantes com dificuldades expressivas e simbólicas (Revistas Unifacs, 2023). Além disso, a análise de padrões comportamentais por sistemas baseados em visão computacional auxilia educadores e especialistas na identificação de necessidades específicas e na elaboração de intervenções pedagógicas mais efetivas (Giannini, 2023).

Entretanto, apesar das potencialidades, persistem desafios consideráveis relacionados à implementação dessas tecnologias no cotidiano das escolas, aliada à necessidade de infraestrutura tecnológica minimamente adequada, investimento em formação continuada de professores e adaptação das soluções tecnológicas à realidade local e às singularidades de cada aluno. Soma-se ainda a carência de materiais em língua portuguesa e a demanda por softwares customizáveis, adequados às múltiplas possibilidades e limitações presentes nas redes de ensino públicas e privadas. Ou seja, o desenvolvimento de práticas pedagógicas inovadoras sustentadas por visão computacional requer um esforço coletivo, envolvendo o diálogo entre educadores, desenvolvedores de software, pesquisadores em educação especial e gestores escolares.

Nesse contexto, a personalização das ferramentas digitais e o acompanhamento sistemático dos impactos dessas soluções sobre o desenvolvimento cognitivo permitem não apenas o aprimoramento das estratégias de ensino, mas também a ampliação real das condições de autonomia, participação e inclusão de alunos com deficiência intelectual (RSD Journal, 2022).

1.4 Aplicações da visão computacional na educação

O avanço das tecnologias de inteligência artificial, em especial da visão computacional, tem aberto novas possibilidades para a promoção do ensino inclusivo e da aprendizagem significativa, especialmente para alunos com deficiência intelectual. Esse campo se destaca não apenas pela capacidade de automatizar tarefas, mas, principalmente, por sua aptidão em criar ambientes de aprendizagem dinâmicos, interativos e adaptativos, rompendo barreiras que historicamente excluíram esses estudantes do pleno acesso ao currículo escolar (Silva *et al.*, 2023).

As aplicações da visão computacional no contexto educacional abarcam desde sistemas de reconhecimento de objetos, leitura automática de texto, análise de expressões faciais, até plataformas que promovem interação por meio de gestos. Essas ferramentas se fundamentam em algoritmos capazes de processar informações visuais e fornecer respostas em tempo real, favorecendo atividades lúdicas, personalização de conteúdos e apoio direto à comunicação alternativa (CIET-UFSCar, 2021; Galvão Filho, 2021).

Dentre as principais aplicações já amplamente documentadas na literatura, destaca-se o reconhecimento de objetos. Sistemas de visão computacional podem ser implementados em aplicativos educativos para apoiar o ensino de conceitos, alfabetização e matemática por meio da associação visual de imagens e palavras. Essa estratégia auxilia especialmente alunos que apresentam dificuldades na simbolização e abstração, pois permite o envolvimento multissensorial durante o processo de aprendizagem (Galvão Filho, 2021).

Uma aplicação prática observada é a utilização de tablets ou quadros digitais que identificam automaticamente figuras físicas manipuladas pelos alunos, gerando estímulos visuais e auditivos para fortalecer o vínculo entre o objeto e o conceito trabalhado. Outra aplicação relevante refere-se à análise de expressões faciais e reconhecimento de emoções. Soluções baseadas em visão computacional conseguem identificar estados emocionais e expressões dos alunos, contribuindo para intervenções pedagógicas mais assertivas e adequadas às necessidades socioemocionais do estudante. Essa funcionalidade pode ser utilizada para monitorar o nível de engajamento, atenção e possíveis sinais de desconforto, auxiliando professores e especialistas na adaptação em tempo real das práticas educativas.

No campo da comunicação alternativa, são promissoras as interfaces que permitem o reconhecimento de gestos e movimentos, facilitando a interação de estudantes com limitações severas de fala ou escrita. Ferramentas educativas equipadas com câmeras e algoritmos de detecção gestual proporcionam autonomia e ampliam as possibilidades de participação dos alunos, viabilizando desde o controle de dispositivos digitais a respostas em atividades pedagógicas sem a necessidade de linguagem verbal (RSD Journal, 2022).

Além disso, a visão computacional também tem sido empregada na adaptação de materiais e recursos didáticos. Por meio da leitura automática de textos e transformação em áudio, alunos com dificuldades de decodificação ou déficits de atenção podem acessar o conteúdo em diferentes formatos, contribuindo para a diversidade de estratégias de ensino-aprendizagem. Esse recurso, quando associado a bases de dados personalizadas, permite a adequação do material à faixa etária, nível de desenvolvimento e preferências cognitivas dos alunos.

Cabe ressaltar que experiências recentes revelam que a combinação entre sistemas de visão computacional e outras tecnologias assistivas potencializa a autonomia e o desempenho acadêmico. Por exemplo, ambientes de aprendizagem gamificados que utilizam reconhecimento facial para identificação do estudante e acompanhamento de progresso tornam as interações mais personalizadas e motivadoras (Gianini, 2023). Da mesma forma, plataformas de avaliação inclusiva podem empregar a detecção de gestos ou movimentos oculares para registrar respostas, eliminando obstáculos associados a limitações motoras e ampliando o acesso ao processo avaliativo.

Apesar das evidências promissoras, desafios persistem na implementação dessas soluções em grande escala, especialmente em escolas públicas. Barreiras como a insuficiência de infraestrutura tecnológica, necessidade de formação continuada dos professores e a customização dos sistemas para a realidade brasileira são apontadas como entraves cruciais (RSD Journal, 2022). A literatura reforça ainda a importância do diálogo interdisciplinar, envolvendo educadores, pesquisadores, desenvolvedores e familiares para o desenvolvimento de ferramentas sensíveis às demandas locais e culturalmente apropriadas.

Em síntese, a visão computacional é uma aliada estratégica para a efetivação do ensino inclusivo e o fortalecimento da autonomia de alunos com deficiência intelectual. A ampliação do acesso a essas inovações depende de políticas públicas integradas, investimento em infraestrutura e formação docente, além do fomento contínuo à pesquisa educacional aplicada.

O reconhecimento do potencial transformador dessa tecnologia é fundamental para a materialização de práticas pedagógicas verdadeiramente inclusivas e equitativas. Nas tendências mais recentes da pesquisa e inovação em educação inclusiva, observa-se que avanços em visão computacional vêm impactando significativamente o desenho de ambientes e práticas pedagógicas acessíveis. Softwares baseados nesse recurso têm sido utilizados para interpretar automaticamente expressões faciais e comportamentais dos alunos, proporcionando aos educadores informações em tempo real sobre níveis de engajamento, emoções e possíveis dificuldades de compreensão. Essas tecnologias vêm auxiliando na personalização imediata das intervenções pedagógicas, promovendo respostas ajustadas às necessidades e potencialidades individuais.

Outra frente promissora refere-se à conversão de conteúdos visuais complexos – gráficos, imagens didáticas ou textos – em formatos simplificados e acessíveis, apoiando a compreensão de conceitos abstratos e promovendo maior autonomia na exploração dos recursos curriculares. Relatos recentes apontam que leitores visuais com algoritmos de visão computacional têm ampliado de forma expressiva o acesso à informação por parte de estudantes com deficiência intelectual, sobretudo quando integrados a plataformas digitais adaptativas.

Evidências científicas internacionais destacam que escolas orientadas pelo uso de dados e inteligência artificial, incluindo ferramentas de visão computacional, vêm observando melhorias robustas nos indicadores de aprendizagem, participação e motivação de estudantes. Há registros, por exemplo, de ganhos de até 20% em desempenho acadêmico médio de alunos em ambientes onde tais inovações foram plenamente integradas ao cotidiano escolar. No contexto brasileiro, experiências práticas têm evidenciado resultados consistentes com plataformas digitais adaptadas graças à visão computacional e a outras tecnologias assistivas.

Na realidade nacional, marcada por ampla diversidade socioeconômica e institucional, ressalta-se a importância da customização dos recursos ao perfil e contexto da escola, e da formação continuada dos professores para o uso criativo de soluções tecnológicas. Tais estratégias fortalecem a equidade, a ampliação do protagonismo discente e a adaptação dos conteúdos para melhor atender às diferentes demandas presentes nas redes regulares de ensino.

Internacionalmente, recomendações de organismos multilaterais e legislações nacionais, como a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e a Lei Brasileira de Inclusão, reiteram que a plena efetividade dessas tecnologias depende de investimentos em infraestrutura, pesquisa aplicada e, de modo especial, em formação docente para o letramento digital e pedagógico. A gestão escolar baseada em evidências é também apontada como fator decisivo para selecionar e adaptar metodologias, garantindo a centralidade do aluno e a promoção de práticas verdadeiramente inclusivas.

Dessa forma, a literatura converge para o entendimento de que, além do acesso à tecnologia, é imprescindível fomentar políticas de suporte e formação interdisciplinar, promovendo ambientes que favoreçam tanto

o desenvolvimento cognitivo como o exercício pleno da autonomia por parte dos alunos com deficiência intelectual. As evidências e recomendações atuais sinalizam que a visão computacional está se consolidando como estratégia-chave para o avanço da educação inclusiva, representando importante vetor para a inovação pedagógica e para a construção de escolas mais democráticas e equitativas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados ao longo do artigo evidenciam que as soluções de visão computacional contribuem, de modo expressivo, para a personalização do ensino e a redução de barreiras históricas enfrentadas por alunos com deficiência intelectual. Tais tecnologias favorecem a análise de emoções, a comunicação alternativa por gestos e símbolos e a adaptação contínua dos conteúdos ao perfil individual dos estudantes, promovendo ganhos tanto no desempenho acadêmico quanto nas habilidades sociais e comunicativas (Pensamento Computacional para Inclusão, 2022).

Outro aspecto relevante diz respeito à importância de estratégias institucionais integradas, que contemplem parcerias entre universidades, organizações da sociedade civil, secretarias de educação, profissionais da saúde e desenvolvedores de tecnologia, buscando ampliar a produção, a disseminação e a sustentabilidade de recursos inovadores (Pensamento Computacional para Inclusão, 2022). O investimento em pesquisa aplicada, avaliações colaborativas e práticas participativas é crucial para garantir que tais soluções sejam continuamente ajustadas às demandas reais da comunidade escolar.

As evidências apontam que, quando implementada de maneira criteriosa e acompanhada por políticas públicas robustas de formação docente e financiamento, a visão computacional pode transformar qualitativamente o processo de ensino-aprendizagem, elevando o nível de equidade e participação na escola contemporânea. Trata-se, portanto, de um caminho promissor, embora ainda repleto de desafios, para a consolidação de uma educação verdadeiramente inclusiva, sensível à diversidade e comprometida com o pleno desenvolvimento de todos os sujeitos.

No caso brasileiro, destaca-se a relevância da Lei Brasileira de Inclusão (LBI) e da Política Nacional de Educação Especial, que buscam não só garantir o direito ao acesso, permanência e êxito escolar, mas também promover adaptações curriculares e estruturais que possibilitem a participação efetiva dos alunos com deficiência intelectual em todas as etapas e ambientes da trajetória escolar (Brasil, 2015; MEC, 2008). Esse arcabouço legal respalda a adoção de tecnologias assistivas, entre as quais a visão computacional desponta como solução promissora para a superação das barreiras pedagógicas e comunicativas historicamente enfrentadas por esse público.

Recomenda-se, por fim, que futuras pesquisas aprofundem o acompanhamento longitudinal dos impactos da visão computacional, fomentando o diálogo contínuo entre prática pedagógica, inovação tecnológica e políticas públicas. Ademais, é fundamental incorporar o *feedback* dos próprios estudantes e suas famílias na avaliação das soluções implementadas, assegurando que seus contextos e necessidades sejam efetivamente atendidos (Pensamento Computacional para Inclusão, 2022).

Em síntese, a trajetória da visão computacional na educação inclusiva ainda se constrói, mas evidencia forte potencial para respaldar ambientes acessíveis, participativos e transformadores, reafirmando o direito à educação de qualidade, à autonomia e à cidadania ativa dos alunos com deficiência intelectual.

Assim, a consolidação da visão computacional como vetor de inclusão escolar demanda ações integradas, pesquisa aplicada, investimento público contínuo e formação sistemática de educadores. Mediante tais esforços articulados, será possível potencializar a democratização do acesso à inovação educacional e efetivar o direito à aprendizagem significativa e à autonomia dos alunos com deficiência intelectual.

REFERÊNCIAS

- APAE LIMEIRA. **Sobre a Deficiência Intelectual**. 2024. Disponível em: <https://www.apaelimeira.org.br/sobre-a-deficiencia-intelectual/>. Acesso em: 03 maio 2025.
- BORGES, W. F.; TARTUCI, D. **Tecnologias assistivas no processo educativo de alunos com deficiência intelectual**. 2018. Disponível em: https://sites.pucgoias.edu.br/pos-graduacao/mestrado-doutorado-educacao/wp-content/uploads/sites/61/2018/05/Wanessa-Ferreira-Borges_-Dulceria-Tartuci.pdf. Acesso em: 08 maio 2025.
- BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB**. Lei nº 9.394/1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 12 maio 2025.

BRASIL. **Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência** (Estatuto da Pessoa com Deficiência) - Lei nº 13.146/2015. 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/13146.htm. Acesso em: 07 maio 2025.

DATA CAMP. **What is Computer Vision?** 2023. Disponível em: <https://www.datacamp.com/pt/blog/what-is-computer-vision>. Acesso em: 13 maio 2025.

EDITORA OPET. **Tecnologia assistiva para uma educação inclusiva**. 2022. Disponível em: https://editoraopet.com.br/blog_opet/tecnologia-assistiva-para-uma-educacao-inclusiva/. Acesso em: 10 maio 2025.

GALVÃO FILHO, P. **Tecnologias para deficiência intelectual: recursos e práticas**. 2021. Disponível em: http://www.galvaofilho.net/DI_tecnologias.htm. Acesso em: 09 maio 2025.

GIANNINI, F. **9 estudos de caso sobre a aplicação da IA na aprendizagem**. 2023. Disponível em: <https://fernandogiannini.com.br/9-estudos-de-caso-sobre-a-aplicacao-da-ia-na-aprendizagem/>. Acesso em: 13 maio 2025.

INSTITUTO NEUROSABER. **Como identificar a deficiência intelectual?** 2023. Disponível em: <https://institutoneurosaber.com.br/artigos/como-identificar-a-deficiencia-intelectual/>. Acesso em: 05 maio 2025.

MEC. **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. 2008. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/politica.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

PENSAMENTO COMPUTACIONAL PARA INCLUSÃO. **Pensamento Computacional para Inclusão - I SIPCI** 2022. 2022. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/705551/2/Pensamento%20Computacional%20para%20Inclus%C3%A3o%20-%20I%20SIPCI%202022.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

PNTA. **Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/pnta>. Acesso em: 10 maio 2025.

RSD JOURNAL. **Ressignificando o pensamento computacional na perspectiva da inclusão educacional**. 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/21789/19714/267027>. Acesso em: 04 maio 2025.

SEVEN PUBLICAÇÕES. **Desafios e possibilidades para inclusão de estudantes com deficiência intelectual**. 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/editora/article/download/6097/11106/24331>. Acesso em: 15 maio 2025.