



CIEB NOTAS TÉCNICAS #16

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO

CIEB NOTAS TÉCNICAS



O CIEB Notas Técnicas é uma série que contém análises sobre temas atuais relacionados à inovação na educação pública brasileira.

São reflexões e conceitos gerados pela equipe do CIEB ao longo do desenvolvimento de projetos, e compartilhados com o intuito de contribuir com o debate público sobre o tema.

SOBRE O CIEB



O Centro de Inovação para a Educação Brasileira (CIEB) é uma organização sem fins lucrativos, cuja missão é promover a cultura de inovação na educação pública, estimulando um ecossistema gerador de soluções para que cada estudante alcance seu pleno potencial de aprendizagem.

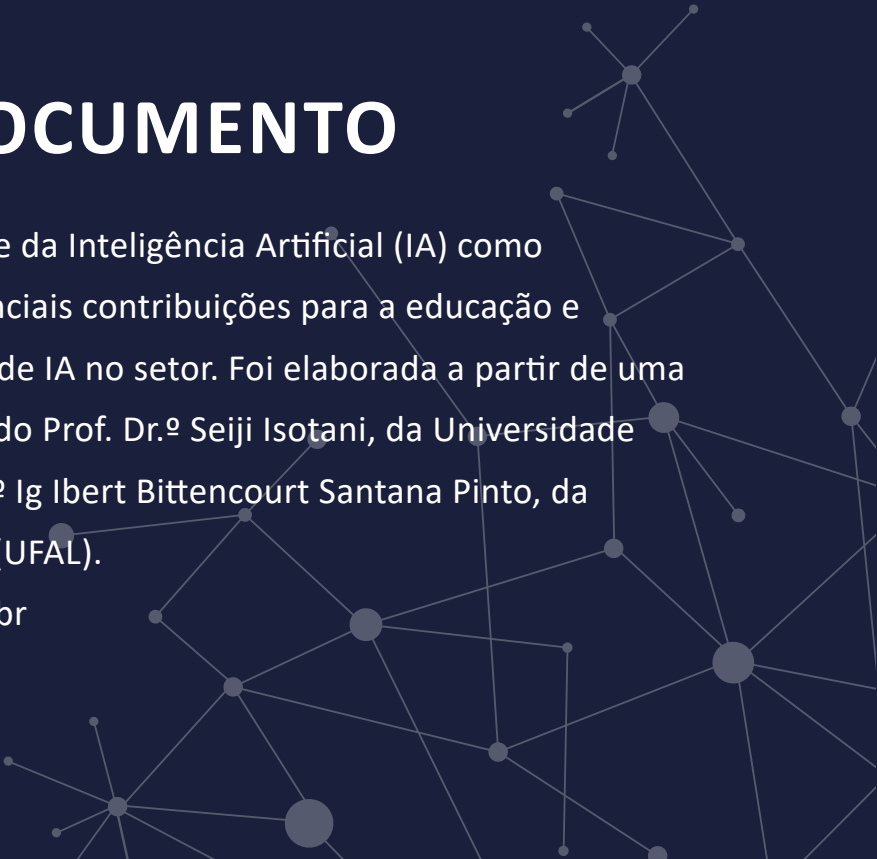
Atua integrando múltiplos atores e diferentes ideias em torno de uma causa comum: inovar para impulsionar a qualidade, a equidade e a contemporaneidade da educação pública brasileira.

SOBRE ESTE DOCUMENTO



Esta Nota Técnica traz uma análise da Inteligência Artificial (IA) como tecnologia emergente, suas potenciais contribuições para a educação e referenciais para implementação de IA no setor. Foi elaborada a partir de uma consultoria contratada pelo CIEB do Prof. Dr.º Seiji Isotani, da Universidade de São Paulo (USP), e do Prof. Dr.º Ig Ibert Bittencourt Santana Pinto, da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Contato: comunicacao@cieb.net.br



INTRODUÇÃO	04
DEFINIÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	06
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO (IAED)	09
APLICAÇÕES DA IAED NO BRASIL E NO MUNDO	20
IMPACTO DA IAED NOS PRINCIPAIS ATORES DO ECOSSISTEMA EDUCACIONAL	23
PRINCÍPIOS PARA ADOÇÃO DA IAED	32
REFERÊNCIAS	36

O que é Inteligência Artificial?

Quando se fala em Inteligência Artificial (IA), uma das primeiras imagens que vêm à cabeça das pessoas é a figura de um robô. Apesar dessa forte associação, a IA vai muito além da robótica e já está mais disseminada do que se imagina. Há muitas aplicações de IA no nosso cotidiano pessoal e profissional.

Os automóveis, por exemplo, dispõem de programas que utilizam a IA para controlar os freios, manter a estabilidade da direção, gerenciar o nível de combustível, identificar problemas no sistema elétrico, entre várias outras funcionalidades que propiciam economia de consumo e conforto ao condutor. Nesse mesmo contexto, estão os veículos autônomos, capazes de se locomover sem necessidade de motorista, que devem chegar ao mercado na próxima década.

Outro exemplo são os jogos, digitais ou não, considerados difíceis, e que exigem uma boa dose de conhecimento, estratégia e inteligência. Podemos citar o Xadrez (IBM, 1997); o Jeopardy, jogo de perguntas e respostas (Bracht, 2011; Reddy, 2017); o Go, jogo de tabuleiro oriental (DeepMind, 2017; Mozur, 2017) e o Poker, jogo de cartas que requer dissimulação (*Revista Galileu*, 2019). Em todos esses casos, sistemas computacionais baseados em IA conseguiram vencer importantes jogadores humanos, especialistas nesses jogos.

Isso ocorreu graças aos grandes avanços na área de computação, em particular a IA, que permitiram melhorar o modo como formalizamos conhecimento, os mecanismos para refinamento de buscas por soluções sub-ótimas e os métodos de aprendizado de máquina (*machine learning*).

Com esses recursos, algoritmos¹ podem ser treinados e modelos podem ser criados utilizando-se grandes bases de dados ou por meio de experiências evolucionárias. Isto é, os algoritmos

¹ Em computação os programas de computador são uma possível representação do que chamamos de “algoritmos”, isto é, métodos e/ou procedimentos não ambíguos que podem ser executados passo a passo com o objetivo de resolver um problema.



aprendem e evoluem ao interagir entre si. Dessa forma, utilizando IA nos jogos, era possível prever com mais precisão os movimentos e obter maior probabilidade de sucesso, até mesmo definindo-se estratégias para vencer os oponentes e criando armadilhas para contra-atacar, quando pertinente.

Os exemplos citados são marcos da IA, realizados para divulgação ao grande público. Contudo, a IA já vai muito além desses casos clássicos, marcando presença no dia a dia, mas nem sempre de modo tão perceptível. Ao utilizar o *smartphone*, ir ao médico realizar exames, checar a previsão do tempo, uma pessoa executa vários programas que utilizam IA.

Considerando-se esse universo de aplicações possíveis, a IA pode adquirir um papel de grande impacto na área da Educação se for utilizada no apoio ao processo de ensino e aprendizagem. No entanto, para que esse conceito possa ser compreendido em todo o seu potencial e colocado em prática nos contextos educacionais, primeiro é preciso entender o que significa a inteligência de uma máquina.

Assim, apresentamos a seguir quatro visões sobre o conceito de Inteligência Artificial (Russel e Norvig, 2009).

DEFINIÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Sistemas que pensam como humanos!	Sistemas que pensam racionalmente!
“O esforço de fazer computadores pensarem... máquinas como humanos, em seu sentido total e literal” (Haugeland, 1985) — “[A automação de] atividades que associamos com o pensamento humano, atividades como tomada de decisão, resolução de problema, aprendizagem...” (Bellman, 1978)	“O estudo de faculdades mentais através do uso de modelos computacionais” (Charniak e McDermott, 1985) — “O estudo da computação que torna possível perceber, raciocinar e agir” (Winston, 1992)
Sistemas que agem como humanos!	Sistemas que agem racionalmente!
“A arte de criar máquinas que executam funções que requerem inteligência quando executadas por pessoas” (Kurzweil, 1990) — “O estudo sobre como computadores podem fazer coisas que neste momento pessoas são melhores” (Rich e Knight, 1991)	“Campo de estudo que busca explicar e simular comportamento inteligente como processos computacionais” (Schalkoff, 1990) — “Área da ciência da computação interessada na automação de comportamento inteligente” (Luger e Stubblefield, 1993)

Estas quatro linhas de pensamento geraram várias pesquisas para o desenvolvimento da IA e proposições de desafios para a comunidade da área, como a tentativa de criação de um solucionador geral de problemas (Newell e Simon, 1961), o desenvolvimento da lógica formal, a construção de agentes de *software*, entre outros.

Uma das proposições que merece destaque é o Teste de Turing, criado pelo matemático britânico Alan Turing, considerado um dos pais da computação, na década de 1950. O teste mede a capacidade de uma máquina interagir com um ambiente específico apresentando comportamentos considerados inteligentes, isto é, similares ao comportamento de um ser humano no mesmo ambiente/situação. O Teste de Turing

foi projetado com o objetivo de proporcionar uma definição operacional de inteligência (Russel e Norvig, 2009).

A Figura 1 apresenta o que seria o Teste de Turing:

Um interrogador deve conversar com alguém através de um computador, sem saber quem está teclando. Se o interrogador não souber dizer se há um computador ou ser humano do outro lado, o computador passou no teste.

Ou seja, em vez de perguntar se máquinas podem pensar, há que se perguntar se as máquinas são capazes de passar em um teste de comportamento. O teste foi também chamado pelo próprio Turing de Jogo da Imitação².

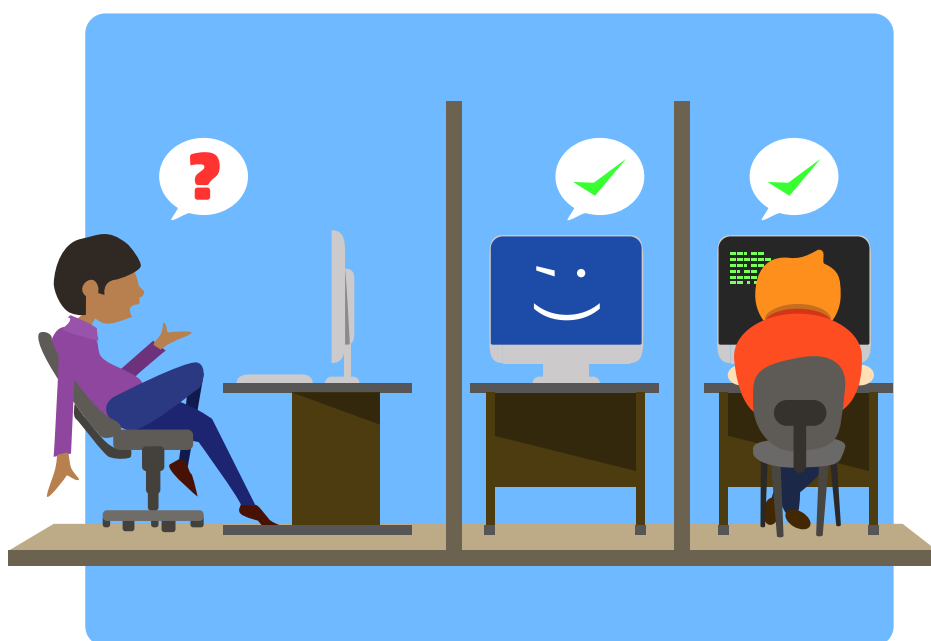


Figura 1. Ilustração do Teste de Turing

O Teste de Turing é um problema de difícil resolução e envolve diferentes capacidades dos computadores, como:

- **Processamento de Linguagem Natural:** a máquina compreende a linguagem natural (português ou inglês) e se comunica adequadamente pela linguagem escrita;

² Recentemente um filme sobre a vida de Alan Turing foi feito por Hollywood e recebeu o nome de Jogo da Imitação (do inglês *The Imitation Game*).

- **Representação de Conhecimento:** com formalismos de representação de conhecimento, o computador armazena informações providas antes e durante as interrogações;
- **Raciocínio Automático:** com a informação armazenada, a máquina faz o raciocínio automático, usando as informações com o objetivo de responder as questões e inferir novas conclusões;
- **Aprendizagem de Máquina:** o computador se adapta a novas situações e detecta/aprende novos padrões.

Além dessas quatro áreas, a IA se estende a diversos outros campos de investigação. A figura a seguir exemplifica de maneira informal a relação entre capacidades humanas e algumas áreas da computação que atuam com Inteligência artificial.

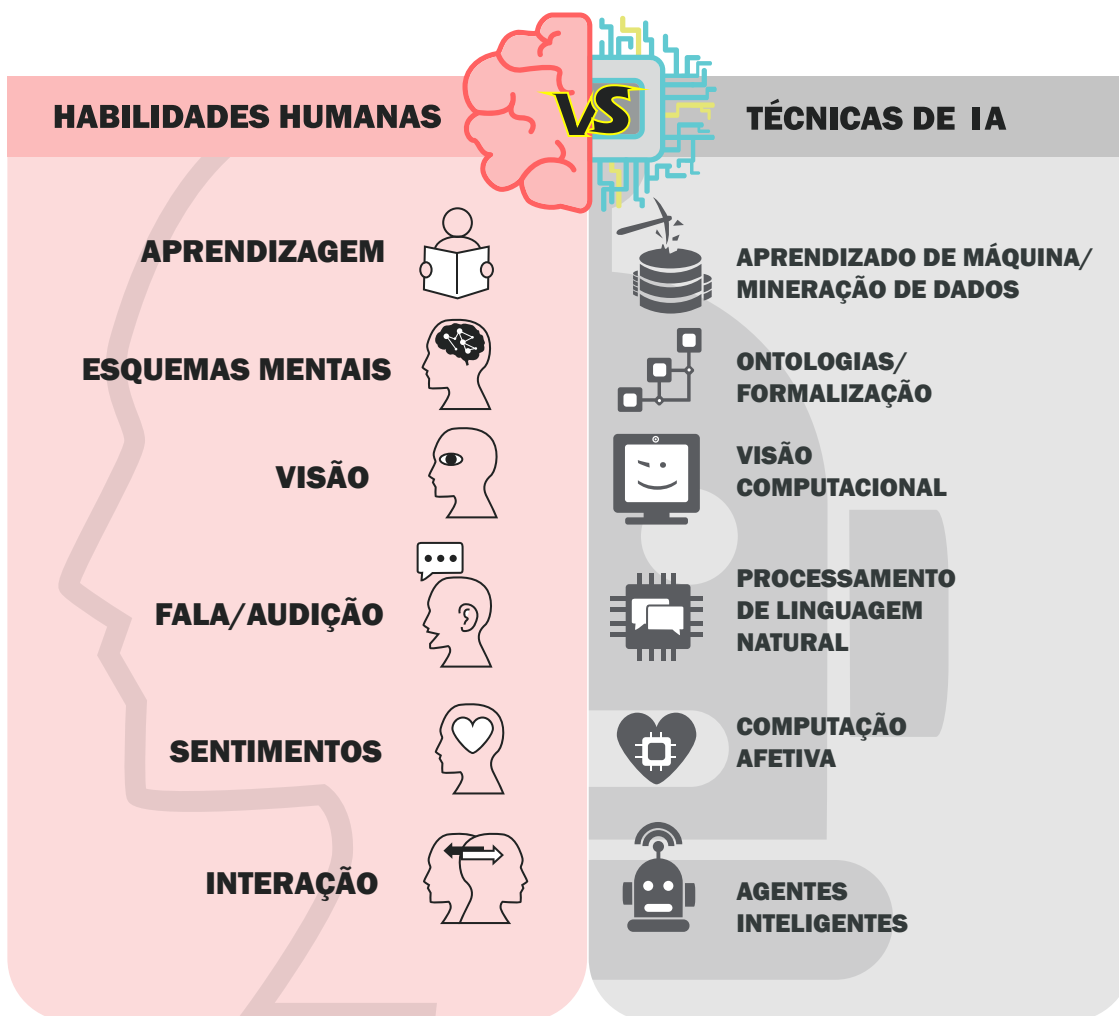


Figura 2. Paralelo entre habilidades humanas e técnicas de Inteligência Artificial (IA)

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO (IAED)

Como vimos, a IA abrange diversas áreas da computação e seu potencial na educação é enorme. A IA na Educação (IAED) agrega duas grandes áreas. Uma é a Ciência da Computação. A outra é a Ciências da Aprendizagem, uma área pouco conhecida no Brasil, que reúne diferentes campos do conhecimento, como psicologia, ciência cognitiva, antropologia, linguística, neurociência (entre outras), com o objetivo de ter uma visão ampla, sob diferentes perspectivas, do processo de ensino e aprendizagem.

Neste contexto, a IAED tem dois objetivos fundamentais:

1. **Objetivo Educacional:** compreender de maneira mais profunda e detalhada como e quando a aprendizagem realmente ocorre, fornecendo subsídios para melhorar as práticas educacionais/instrucionais.
2. **Objetivo Tecnológico:** promover o desenvolvimento de ambientes adaptativos de aprendizagem mais flexíveis, inclusivos, personalizados, envolventes e eficazes.

Assim, da mesma forma como definimos IA, podemos definir a IAED como um sistema de computador projetado para interagir com o ecossistema educacional (atores, recursos, visões pedagógicas etc.), por meio de capacidades e comportamentos inteligentes (utilizando algoritmos ou técnicas provindas da área de IA), para entender e encontrar soluções de problemas educacionais complexos que eram então compreendidos e resolvidos essencialmente por humanos. Dessa forma, o espectro do uso da IA na Educação compreende:

- Entender o fenômeno para apoiar a tomada de decisão pedagógica
- Atuar no ambiente para promover os objetivos educacionais
- Retroalimentar o sistema com vistas a melhorar as duas ações anteriores



Para melhor entendimento, imagine-se a seguinte situação: João Paulo é um professor de matemática que utiliza listas de exercícios para que seus estudantes fixem o conteúdo trabalhado em aula e, ao corrigir a lista, ele tenta identificar em qual tópico a turma tem maior dificuldade, de modo que possa dar aulas de reforço. Para isso, o professor João deve superar diversos desafios.

Por exemplo, muitos estudantes incapazes de resolver a lista de exercícios simplesmente vão copiar ou não vão entregar a tarefa. Além disso, a correção em geral ocorre quando o estudante já fez a lista de exercícios e está aprendendo outro assunto, misturando diferentes informações e, possivelmente, atrapalhando o aprendizado. Completando o quadro, o processo de correção é manual, o que dificulta tanto a aplicação de muitas listas de exercícios quanto a compreensão das principais e reais dificuldades dos estudantes, para que o professor possa intervir de forma individual.

Neste contexto, a IAED poderia oferecer recursos de apoio, como viabilizar o desenvolvimento de tecnologias educacionais inteligentes que (i) acompanhem os raciocínios dos estudantes enquanto tentam resolver os exercícios; (ii) ofereçam ajuda individualizada em tempo real e de forma automática; e (iii) apoiem a correção (semi)automática das listas de exercícios e identifiquem os erros cometidos, para que o professor possa dar assistência de acordo com as dificuldades individuais.

Nesse exemplo, a IAED amplia as capacidades do professor, permitindo que ele foque na tarefa mais importante: acompanhar os estudantes de forma individualizada e apoiar de forma mais efetiva o processo de ensino e aprendizagem. Esse tipo de aplicação vem sendo desenvolvida em uma subárea da IA chamada Inteligência Aumentada, cujo objetivo é utilizar a IA para aumentar as capacidades humanas, permitindo às pessoas realizar suas tarefas com mais precisão e rapidez (Dermeval *et al.*, 2019). Esse é apenas um exemplo dos muitos possíveis em IAED.

Com base nas áreas da computação que utilizam IA, apresentadas na Figura 2, a Figura 3 mostra algumas oportunidades que a IA oferece no contexto educacional.



Figura 3. Relação entre áreas da IAED com as técnicas da IA



● **Learning analytics / Mineração de dados educacionais:** essas duas áreas, distintas, mas fortemente correlatas, têm como objetivo melhorar a educação a partir da análise e do uso de grandes quantidades de dados (Baker *et al.*, 2011; Siemens e Baker, 2012). As áreas oferecem ferramentas para entender melhor os problemas educacionais, tanto do ponto de vista dos estudantes quanto dos professores e gestores; para facilitar o desenvolvimento de modelos e estratégias para entender melhor o processo de ensino e aprendizagem; e para apoiar a pesquisa básica e a prática educacional, por meio da coleta adequada e análise apurada de dados coletados de forma multimodal.

Contudo, o enfoque e a forma de conduzir a pesquisa são diferentes entre as duas áreas, apesar de ser possível integrá-las (Paiva *et al.*, 2018). As duas áreas cresceram muito nos últimos anos, devido ao massivo uso de ambientes de aprendizagem *on-line* e híbridos. (Mais informações sobre essas diferenças em Siemens e Baker, 2012; Moissa *et al.*, 2015).

● **Monitoramento da aprendizagem e Realidade Aumentada (RA) no ensino:** de maneira superficial, a visão computacional (a visão artificial implementada por *hardware* e *software*) permite que uma máquina possa “enxergar” da mesma forma que uma pessoa. Assim, é possível que máquinas detectem e classifiquem objetivos em cenas, com ou sem movimento, por meio da IA. Esse recurso é muito interessante na área educacional por dois motivos:

(1) é possível entender e monitorar o comportamento do estudante, suas reações e expressões corporais, tornando-se viável criar modelos que predizem o impacto (positivo ou negativo) de diferentes situações e ambientes no comportamento, durante o processo de ensino-aprendizagem; (2) com uma noção do que está à volta do estudante e como isso o afeta, é possível utilizar a realidade aumentada (mesclar o ambiente real com o virtual) para criar ambientes de ensino mais ricos, interativos, personalizados e realistas (Cardoso *et al.*, 2017). Atualmente, existem vários exemplos de aplicação na área de simulação, medicina, física, geografia, entre outras³.

● **Chatbots educacionais:** os *chatbots* são programas que fazem uso da IA, mais especificamente o processamento de linguagem natural (PLN) para manter uma conversa com o usuário (Kerlyl *et al.*, 2006; Kuyven *et al.*, 2018). Para o estudante, um chatbot pode ser um ambiente para tirar dúvidas a qualquer momento (sem necessidade de esperar por um especialista no assunto) de maneira natural (utilizando a própria fala ou por meio da escrita). Para o professor, essa mesma tecnologia pode ser utilizada como um assistente pessoal. O professor pode solicitar ao computador, de forma natural (por voz ou texto), que busque materiais pertinentes à sua prática pedagógica, que dê dicas de como utilizar um determinado recurso, e até que discuta casos de estudantes com alguma dificuldade em particular. Um chatbot premiado por sua performance está disponível para consulta em <https://www.pandorabots.com/mitsuku/>

● **Agentes pedagógicos:** em computação, um agente é um programa de computador autônomo, que observa o ambiente por meio dos seus sensores, utiliza suas observações para planejar e atuar no ambiente, de modo que consiga atingir e atualizar seus objetivos. No caso da educação, esses agentes, chamados de agentes pedagógicos, têm como objetivo apoiar a aprendizagem dos estudantes (Jaques e Vicari, 2005). Um agente pedagógico em geral é representado por um avatar (um agente pedagógico animado) e pode interagir com o estudante utilizando diferentes papéis e estratégias.

Por exemplo: pode ser um tutor virtual que oferece muito além do que apenas ajuda durante uma dificuldade. Isso porque é possível que o programa reconheça e expresse emoções ou traços de personalidade, tornando a interação aluno-computador mais prazerosa e, por consequência, aumentando a motivação do estudante. Em outro exemplo, o agente pedagógico pode atuar como aluno virtual, que tem dificuldades e conhecimentos complementares aos de um aluno real. Dessa forma, é possível utilizar técnicas de aprendizagem colaborativa em situações em que o isolamento geográfico pode ser um fator desmotivador, como pode acontecer em ambientes de ensino a distância.

³ <https://www.youtube.com/watch?v=5AjxGqzqQ54>
https://www.youtube.com/watch?v=nkkMNaY0_Qw
<https://www.youtube.com/watch?v=uIHPPtPBgHk>



● **Formalização do conhecimento pedagógico / Catalogação e busca de recursos educacionais:** para que uma informação seja utilizada de forma adequada, tanto por pessoas, quanto por máquinas, é fundamental a sua estruturação e padronização. Na computação, existe uma área conhecida como engenharia de ontologias, cujo objetivo é exatamente esse – organizar a informação como ontologias (conjunto de conceitos e suas relações), de forma que a sua estrutura seja descrita de maneira formal, explícita e sem ambiguidade (Isotani e Bittencourt, 2015).

O uso de ontologias na educação oferece diversas possibilidades, como formalizar o conhecimento pedagógico para que o computador possa compreender de que forma a tomada de decisão ocorre, baseada em teorias instrucionais e de aprendizagem, e, assim, oferecer apoio pedagógico personalizado e sob demanda para estudantes e professores.

Além disso, as ontologias e os padrões/especificações de dados educacionais, como IEEE LOM⁴, Scorm⁵, IMS-LD⁶ e xAPI⁷, permitem o uso de metadados para catalogar, armazenar e compartilhar informações sobre recursos educacionais entre diferentes ambientes. Como resultado, as buscas por recursos/informações educacionais tornam-se mais rápidas e precisas (Isotani *et al.*, 2009).

● **Afetividade na aprendizagem:** resumidamente, a computação afetiva tem como objetivo desenvolver tecnologias que utilizam a IA para entender, modelar e expressar sentimentos humanos. Sentimento pode ser emoção, humor, personalidade, afeição etc. Essas tecnologias são muito interessantes na aprendizagem, pois dão às máquinas novas capacidades para entender o comportamento de estudantes e professores, em diferentes contextos educacionais (Jaques e Nunes, 2018). Muitos trabalhos na área de educação e psicologia indicam que a aprendizagem ocorre de forma efetiva somente quando o estudante está motivado e engajado.

⁴ https://standards.ieee.org/standard/1484_12_1-2002.html

⁵ <https://scorm.com/scorm-explained/>

⁶ <http://www.imsglobal.org/learningdesign/index.html>

⁷ <https://xapi.com/>



Portanto, o uso da IA pode auxiliar a criar tecnologias educacionais que conseguem aferir o estado afetivo do estudante e atuar para que esse estado seja mantido, quando contribui para a aprendizagem (em fluxo), ou alterado, no caso de estado afetivo que prejudica a aprendizagem (tédio). Isso pode ser feito adaptando a interface, o conteúdo, o método de ensino, a forma como uma ajuda ao estudante é ofertada (mudando o conteúdo de uma mensagem) e até mesmo utilizando agentes pedagógicos para que expressem emoções capazes de capturar a atenção e afeição do estudante.

Além das áreas apresentadas na Figura 3, existe uma outra que merece destaque especial. Conhecida como Sistemas Tutores Inteligentes (STI), essa área é o caso de maior sucesso da IAED na atualidade. Aferida por dezenas de experimentos controlados, realizados por pesquisadores ao redor do mundo (Ma *et al.*, 2014; du Boulay, 2016), foi aplicada na melhoria da aprendizagem nas mais diversas áreas do conhecimento (matemática, inglês, chinês, química, física etc.). Além disso, viabilizou a criação de empresas e negócios de sucesso, como será visto na seção “Casos reais de aplicação da IAED no Brasil e no mundo” deste documento.

O surgimento da STI se confunde com o surgimento da própria IA, tendo o propósito de estudar e desenvolver sistemas de computador que interagem tanto com estudantes quanto com professores. Para os estudantes, esses sistemas adaptam e personalizam a aprendizagem. Isso significa que, dependendo dos conhecimentos, habilidades e características pessoais do estudante, o sistema apresenta conteúdos diferenciados, utiliza estratégias pedagógicas que tragam mais benefícios, considerando as particularidades do indivíduo e oferecendo os gatilhos motivacionais adequados para ele consiga construir seu próprio conhecimento. O mais importante ainda é que, devido à sua arquitetura, esses sistemas oferecem auxílio passo a passo para sanar dificuldades.



Assim, é possível modelar, acompanhar e estimar o desenvolvimento do estudante durante todo o processo de aprendizagem, o que possibilita uma atuação eficaz na raiz dos problemas encontrados pelos estudantes. A arquitetura de um STI é apresentada na Figura 4 (na página 17).

Um STI tem três modelos essenciais (topo da Figura 4): o Modelo do Aluno (ou Modelo do Estudante); o Modelo Pedagógico (ou Modelo do Tutor/Especialista); e o Modelo do Domínio. O Modelo do Estudante representa o indivíduo-aluno e as suas características. Representa e armazena as informações mais relevantes para entender o comportamento do estudante, prever seus próximos passos (erros e acertos) e, assim, apoiar a tomada de decisão pedagógica.

Por exemplo, é possível representar as conquistas, erros e dificuldades em um determinado domínio; o estado emocional, personalidade e preferências; o nível de engajamento com o domínio e as atividades propostas; as capacidades e estados cognitivos e metacognitivos; as habilidades sociais e de comunicação; entre outras. Quanto mais informação, e quanto mais rica a informação, melhores são as possibilidades de o STI entender como o estudante aprende e o quanto ele pode aprender durante uma situação de aprendizagem. Esse modelo pode ser apenas para consumo do STI ou apresentado de forma explícita ao aluno/professor, conforme ilustrado na base da Figura 4.

O Modelo Pedagógico representa habilidades, estratégias e conhecimentos necessários para ensinar. Este modelo descreve como a tomada de decisão pedagógica ocorre, dada uma ação do estudante e seu estado atual (estado do Modelo do Estudante). Essa tomada de decisão leva em consideração a visão macro e micro de apoio ao estudante.

MODELO TUTOR INTELIGENTE

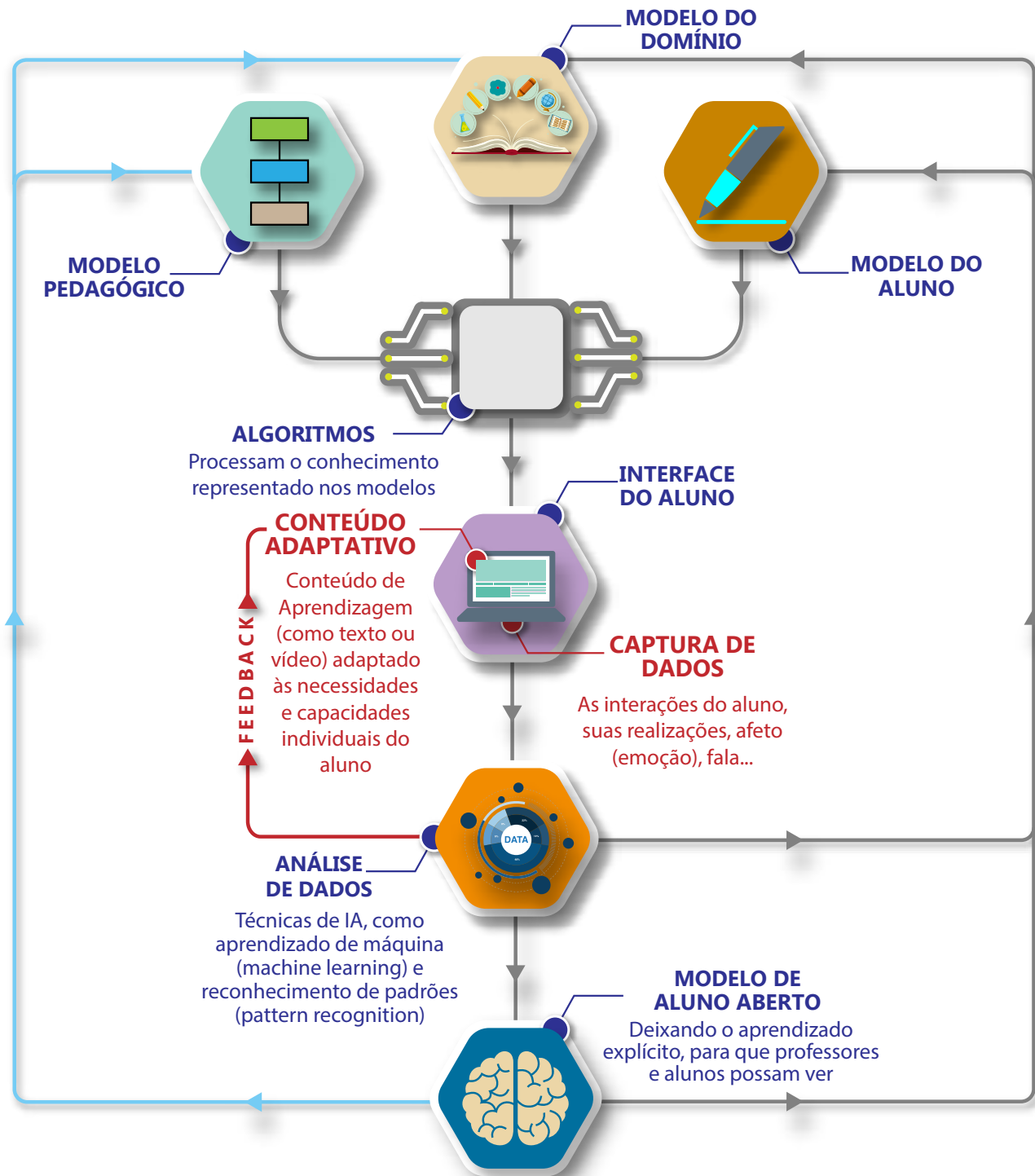


Figura 4. Arquitetura de um Sistema Tutor Inteligente (adaptado de Luckin *et al.* 2016)



Na visão macro (*outer-loop*) descreve-se a forma como o STI irá lidar com o sequenciamento e a organização do conteúdo e as atividades que serão trabalhadas com o estudante. Assim, a visão macro poderia responder a perguntas como: qual atividade deve ser apresentada para este estudante em particular? A partir de um conjunto de ações do estudante, qual deve ser o próximo conteúdo ou atividade a ser trabalhada com ele, para que a experiência de aprendizagem seja a melhor possível? Na visão micro (*inner-loop*) descreve-se como o STI irá ajudar o estudante, passo a passo, durante o processo de aprendizagem, em particular na resolução de problemas e atividades. A visão micro permite que o sistema dê dicas e suporte específicos ao estudante para que ele consiga sanar suas dificuldades. Por exemplo, a visão micro poderia responder perguntas como:

Qual o tipo de dica (uma pergunta ou uma sugestão) eu devo dar ao estudante quando ele cometer um erro? Essa dica deve ser apresentada imediatamente ou devo esperar para que o estudante perceba o erro? Devo ser mais formal ou informal ao conversar com o estudante? Observe-se que todas essas perguntas não têm respostas únicas, mas dependem do estado do estudante, da atividade, dos objetivos pedagógicos e do domínio do conhecimento que está sendo trabalhado. Neste contexto, o STI consegue “raciocinar” em tempo real (usando técnicas de IA), considerando todas as informações disponíveis para dar suporte adequado ao estudante.

Finalmente, o Modelo do Domínio representa uma área específica do conhecimento (números decimais) que será trabalhada com o estudante. Descreve-se esse conhecimento de maneira formal, indicando os conceitos envolvidos e suas relações. Em particular, é preciso descrever de forma explícita e não ambígua quais são os conceitos mais importantes que afetam o aprendizado do estudante.



Esses conceitos são conhecidos como componentes de conhecimento. São princípios, fatos, procedimentos, valores, crenças ou qualquer outro dado persistente, específico do domínio, e necessário para compreender e dominar o conhecimento. A qualidade e a abrangência deste modelo afeta diretamente a performance do STI, pois não é possível às máquinas ensinar ou avaliar o conhecimento não adquirido.

Conforme ilustra a Figura 4, utilizam-se algoritmos de IA no acesso às informações disponíveis nos modelos descritos anteriormente, para que seja tomada qualquer decisão com relação ao processo de ensino e aprendizagem. As decisões são apresentadas na interface do sistema de forma transparente. Ou seja, no caso do estudante, ele não percebe que o conteúdo, a sequência de atividades e as estratégias pedagógicas foram adaptadas e personalizadas especialmente para ele.

Essa interface do STI permite coletar uma variedade de dados que são analisados utilizando as técnicas de learning analytics e mineração de dados educacionais, tanto para atualizar os modelos do STI, quanto para apresentar ao professor informações relevantes sobre os estudantes, de modo a fomentar uma tomada de decisão pedagógica baseada em dados.

APLICAÇÕES DA IAED NO BRASIL E NO MUNDO

Ao longo de décadas de pesquisa, a área de IAED já acumula resultados produzidos pela academia em diferentes aplicações disponíveis para uso em todo o mundo⁸. Apresentamos, a seguir, algumas aplicações que estão sendo amplamente utilizadas em escolas dentro e fora do Brasil.

- **Cognitive Tutor:** no continente americano, tanto na América do Norte quanto na América do Sul, várias soluções estão disponíveis. É o caso dos Estados Unidos (que têm mais tradição no desenvolvimento dessas soluções), Uruguai e Brasil. Nos Estados Unidos, podemos citar a empresa Carnegie Learning⁹, de Pittsburgh, que tem vários membros integrando a Universidade Carnegie Mellon. As soluções da empresa são voltadas para a aprendizagem de matemática, para os níveis de ensino Fundamental e Médio.

De acordo com o site estadunidense What Works Clearinghouse (WWC), a solução Cognitive Tutor Algebra está na lista das melhores soluções para a matemática dos EUA. A Cognitive Tutor equivale a um pacote de tecnologias com materiais textuais adicionais e um tutor cognitivo para cada curso. Nos tutores cognitivos, os estudantes se engajam em instruções individualizadas e na resolução de problemas do mundo real, desenvolvendo competências de pensamento concreto e abstrato.

- **ASSISTments:** Sistema Tutor Inteligente (STI) *on-line* e livre, foi projetado para ser utilizado em atividades extraclasse de matemática. O ASSISTments também consta da lista das melhores tecnologias para matemática dos EUA, de acordo com o WWC.

- **WriteToLearn:** outra solução estadunidense, a WriteToLearn provê um ambiente baseado em técnicas de Inteligência Artificial para responder automaticamente a textos de estudantes.

⁸ Para mais detalhes vide: <http://www.studie-personalisiertes-lernen.de/en/> e <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366994>

⁹ www.carnegielearning.com/



• **Accelerated Reader:** solução que dá suporte individualizado para os estudantes, com o objetivo de apoiar o ensino de escrita. A Accelerated Reader tem características meta-cognitivas, apoiando os estudantes na compreensão do que estão lendo, e dando feedbacks individualizados.

• **AltSchool:** com abordagem baseada em Big Data, a solução provê aprendizagem individualizada. A AltSchool pode ser aplicada em diferentes domínios. Os estudantes recebem uma lista de 25 atividades projetadas para encorajar sua autonomia. Há um módulo do professor, que pode visualizar os pontos fortes e fracos de seus estudantes, bem como seus progressos.

• **PAM:** a Plataforma Adaptativa de Matemática (PAM¹⁰) tem um currículo adaptado para a realidade do Uruguai e usa técnicas de IA para personalizar o feedback de acordo com o nível de conhecimento dos estudantes. A plataforma já foi utilizada por milhares de estudantes desde o lançamento, em 2013, e oferece mais de 20 exercícios com resolução de questões passo a passo.

• **MeuTutor:** uma solução de destaque no Brasil é o MeuTutor, sistema tutor inteligente voltado para o ensino Fundamental II e o ensino Médio. Em 2014, a empresa desenvolvedora foi considerada a startup mais inovadora do ramo de educação, segundo a RioInfo.

• **eNeuron:** por meio de diferentes técnicas de IA, a solução automatizou a correção de redações de vestibulares, com destaque para o ENEM. Disponível para diferentes escolas e parceiros no Brasil, pode ser adaptada para outros 25 idiomas.

¹⁰<https://www.ceibal.edu.uy/pam#>



• **Smart Learning Partner:** no contexto asiático, a China desponta com uma liderança em IAED. A Smart Learning Partner provê um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) inteligente, que além dos módulos clássicos de um AVA oferece um pacote de ferramentas de IA que adapta o conteúdo de acordo com as necessidades dos estudantes. A plataforma os conecta aos milhares de tutores disponíveis.

• **Squirrel AI:** a solução disponibiliza um sistema adaptativo baseado em Sistemas Tutores Inteligentes para todo o ciclo da Educação Básica. Atualmente, milhões de estudantes utilizam a tecnologia.

• **Hujiang:** esta empresa do ramo educacional desenvolve tecnologias de IA capazes de fazer reconhecimento de imagem (para entender as expressões faciais dos estudantes) e voz, com vistas a prover um feedback inteligente.

• **bettermarks:** na Europa existem várias soluções, com destaque para o Reino Unido e Alemanha, que, além de promover várias pesquisas relacionadas a IAED, têm conseguido articular a relação academia-empresa. A bettermarks provê uma plataforma adaptativa para o ensino de matemática.

• **Daptio:** solução sul-africana que usa IA para auxiliar estudantes, tutores e professores no entendimento do nível de proficiência de estudantes e com isso poder personalizar o conteúdo.

• **M-Shule:** plataforma móvel desenvolvida no Quênia, disponibiliza conteúdo de acordo com o currículo nacional, adaptando esse conteúdo com base nas habilidades e competências dos estudantes. A tecnologia rastreia a aprendizagem e disponibiliza dados para pais e escola, com recomendações.

IMPACTO DA IAED NOS PRINCIPAIS ATORES DO ECOSSISTEMA EDUCACIONAL

Há ainda várias outras soluções disponíveis globalmente, muitas voltadas ao contexto de plataformas adaptativas, apesar de ser possível já encontrar soluções que dão suporte na fase de entendimento do fenômeno educacional com vistas a apoiar tomada de decisões pedagógicas por gestores.

No Brasil, podem ser citadas ainda a GeekieGames e a Plataforma Eleva, que são plataformas adaptativas voltadas para a Educação Básica. De acordo com o relatório da ABStartups, publicado em 2018 em parceria com o CIEB, existem no Brasil 15 soluções de plataformas adaptativas. Isso mostra que no Brasil as soluções de Inteligência Artificial aplicadas à educação são incipientes e concentradas em basicamente um tipo de grupo de atuação. Essa evolução da IAED tem gerado diversos benefícios à educação. Apesar disso, o uso dessa tecnologia ainda é incipiente, localizado e não sistemático. Ou seja, existe um grande potencial latente para impactar positivamente o ecossistema educacional. Neste contexto, também é preciso repensar o papel dos atores envolvidos no ecossistema, de modo a otimizar as oportunidades e superar os desafios de introduzir essa tecnologia no ambiente escolar. A seguir, apresentamos exemplos de impactos no ecossistema educacional sobre os principais atores envolvidos.

Impacto sobre o estudante

A IAED oferece grandes benefícios à aprendizagem. Pode tornar o processo mais fácil, rápido, prazeroso e engajante. Além disso, é possível criar ambientes mais inclusivos, considerando-se a possibilidade de adaptação do conteúdo para atender estudantes com dificuldades motora, visual ou auditiva. Contudo, existe um custo: acesso aos dados sobre as ações, os pensamentos e até mesmo as emoções dos usuários.



O estudante terá que se acostumar com ambientes que o monitoram o tempo todo e podem atuar (ou solicitar a atuação de um professor) com base em algoritmos que ele não entende. Por exemplo: partindo do princípio de que a IAED pode prever comportamentos indesejados, ações pedagógicas podem ser tomadas mesmo antes de o estudante ter externado esses comportamentos.

Esse é um novo desafio, análogo ao apresentado no filme de ficção *Minority Report*¹¹. Ou seja, uma aplicação que utiliza IAED pode prever o risco de uma reprovação logo no início do curso e indicar que um responsável (professor) solicite a permanência do estudante em sala de aula por mais uma hora para reforço escolar. Assim, ações preventivas reduziram a probabilidade de reprovação. Porém, o estudante e seus pais podem ter a sensação de que houve um prejulgamento equivocado, pois o professor não fez uma avaliação formal prévia. Para que ações preventivas como essa possam de fato ser adotadas pelo ecossistema educacional ainda será preciso um processo de entendimento dos atores envolvidos e uma análise mais robusta dos benefícios e dos malefícios da IAED para os estudantes.

Impacto sobre o professores

Dois grandes desafios se colocam ao professor atualmente: saber e acompanhar as dificuldades de cada estudante; e apoiar cada estudante de forma individualizada e personalizada (inclusive aquele que precisa de auxílio especializado, dada uma necessidade especial). Para saber e acompanhar as dificuldades dos estudantes, a IAED oferece recursos de automatização dos processos de avaliação.

Esses processos podem ser baseados em testes tradicionais (provas) ou utilizar técnicas de análise multimodal, que consideram diferentes fontes, como dados comportamentais, de atividades e performance no ambiente educacional, emoções,

¹¹<https://www.imdb.com/title/tt0181689/>



interação com outros estudantes e com o professor etc. A IAED pode apoiar o professor na criação de planos de estudo personalizados ou na adaptação de material para lidar com cada dificuldade em particular.

Contudo, da mesma forma que acontece com os estudantes, esses benefícios têm um custo para o docente: aumenta o temor por ser substituído no trabalho por máquinas inteligentes e pela possível intervenção nas tomadas de decisões. Algumas pessoas podem pensar que, se as máquinas podem automatizar a avaliação e definir planos de estudo eficazes para os estudantes, os professores se tornarão “obsoletos”. Essa é uma visão equivocada da IAED e prejudica a sua adoção efetiva e em larga escala. Como dito anteriormente, o objetivo da IAED é aumentar as capacidades do professor. As técnicas dessa área “desburocratizam” a vida escolar, dando ao professor liberdade para se concentrar nas necessidades do estudante. O papel do professor será diferente do atual, mas será sempre fundamental e indispensável.

Impacto sobre o gestor

O gestor educacional, seja um diretor de escola ou um secretário de Educação, se beneficia muito com a adoção da IAED de maneira sistemática. As diversas aplicações permitem automatizar a distribuição de carga didática aos professores e o rastreamento de cronogramas, metas e pontos críticos no ecossistema educacional. Com técnicas de IA, também é possível identificar pessoas e escolas ideais para delegar atividades e coordenar processos. Otimizar os recursos, minimizando os custos e maximizando os ganhos educacionais, torna-se uma tarefa mais simples e corriqueira.

Assim, muito do trabalho organizacional do gestor seria substituído por atividades de tomadas de decisões referentes a problemas complexos, que exigem análise de diversas variáveis, com o respaldo



da IAED para encontrar as melhores soluções. O grande desafio do gestor é implantar de forma efetiva a IAED em todo o ecossistema, uma vez que ações pontuais podem não produzir o efeito desejado.

Por fim, é importante destacar que os dados coletados sobre as ações dos atores no ecossistema educacional geram grandes quantidades de informações que podem retroalimentar as aplicações baseadas em IAED. Essas aplicações podem analisar esses dados por longos períodos de tempo, gerando evidências sólidas para criação de políticas públicas educacionais mais efetivas.

Implicações éticas do uso da IAED

Como destacado até aqui, a IA é considerada altamente promissora para atuar em problemas de diferentes áreas. Além da educação, a IA está presente em aplicações como diagnóstico de câncer, adaptação do consumo de produtos, combate ao terrorismo, monitoramento de manifestações populares, elaboração de sentenças jurídicas, negociações, automação e até na indústria bélica. As máquinas inteligentes têm mediado nossas interações sociais, culturais, econômicas e políticas.

Entretanto, estudos apontam uma preocupação na terceirização de atividades para máquinas inteligentes. Apesar da promessa da IA de lidar com problemas de forma transversal, vários aspectos precisam ser considerados. Por um lado, estudos mostram que a capacidade de resolução de forma efetiva é maior quando o ser humano participa da decisão. Já destacamos neste documento que a área conhecida como Inteligência Aumentada (do inglês, *Augmented Intelligence*) algumas vezes também é conhecida como Inteligência Amplificada (do inglês, *Amplified Intelligence*) (Dermeval *et al.*, 2018).

O envolvimento humano é fundamental não só na tomada de decisão, mas também para entender o comportamento de máquinas inteligentes, pois: i) vários tipos de algoritmos atuam em nossa sociedade e têm papel importante em nossas atividades diárias; ii) devido às propriedades complexas desses algoritmos e dos ambientes em que atuam, fica difícil ou impossível uma modelagem analítica; e iii) devido à ubiquidade e à complexidade dos algoritmos inteligentes, conseguir prever os seus efeitos para a humanidade se torna um desafio premente (Rahwan *et al.*, 2019).

Por essa razão, em abril de 2019 foi publicado um artigo na revista *Nature* em que pesquisadores argumentam sobre a necessidade de um novo campo científico que se dedique ao Comportamento de Máquina (do inglês, Machine Behavior) (Rahwan *et al.*, 2019). Esta se propõe a ser uma área interdisciplinar, que envolve métodos, processos e técnicas de construção de sistemas baseados em IA e ao mesmo tempo o estudo científico do comportamento, conforme descrito na Figura 5.

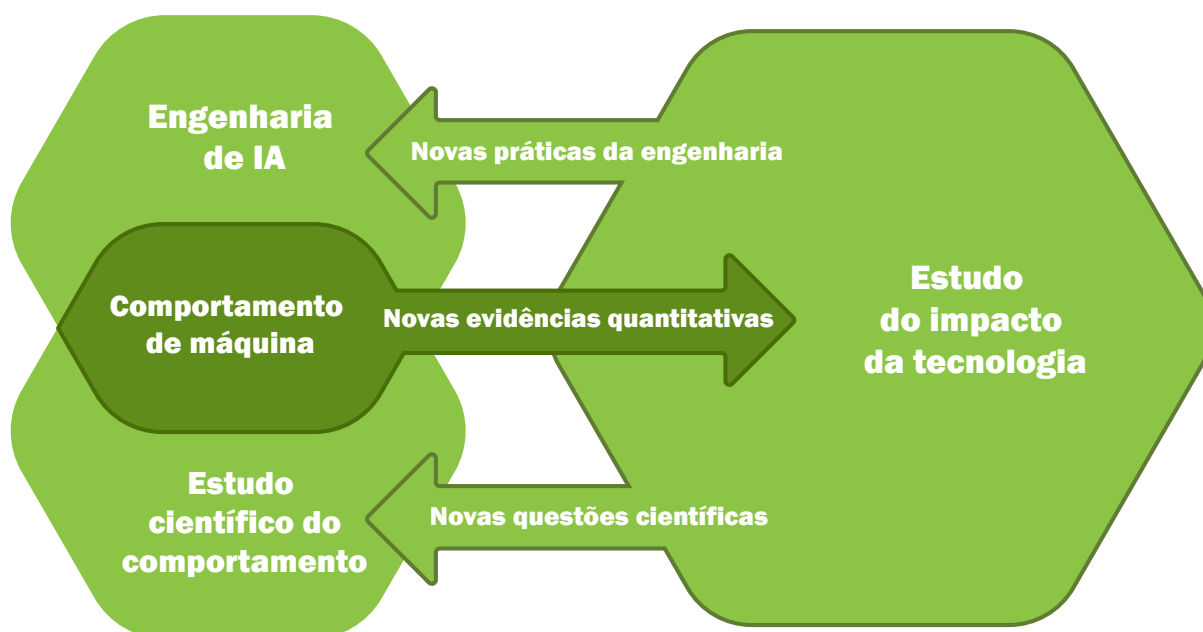


Figura 5. Comportamento de máquina como uma área de pesquisa a ser desenvolvida (adaptado de Rahwan *et al.*, 2019)



Aspectos que devem ser considerados no estudo do comportamento de máquina:

- Como uma determinada máquina funciona? Esta pergunta está relacionada a como as máquinas adquirem determinados comportamentos (perspectiva desenvolvimental), bem como determinado comportamento é construído (perspectiva mecânica).
- Como determinada máquina evolui o seu comportamento? Tanto alguns incentivos quanto as forças do mercado podem ser decisivas para descrever se uma máquina vai evoluir pela programação e interferência humana ou via aprendizagem automatizada (perspectiva evolucionista). Esta pergunta é importante também para entender quais são as consequências causadas por uma máquina em determinado ambiente (perspectiva funcionalista).

Com isso, podemos descrever os tipos de interações e escalas do comportamento de máquina e os níveis de interações na sociedade. Há três tipos de interações possíveis (Figura 6):

1. Comportamento de Máquina Individual: esta interação está relacionada à compreensão sobre quais implicações o comportamento de uma máquina inteligente específica pode causar. Em contexto educacional, podemos citar os ambientes educacionais adaptativos clássicos, que tentam se adaptar de acordo com as necessidades dos estudantes e a disponibilidade de recursos educacionais.

2. Comportamento de Máquina Coletivo: na interação coletiva entre máquinas, a preocupação e as implicações dizem respeito a como máquinas inteligentes interagem e se comportam coletivamente. Como exemplo, podemos citar sistemas independentes que fazem uso de visão computacional e reconhecimento de voz para entender características afetivas dos

estudantes e professores. E ainda ao interagir com plataformas adaptativas (que inferem a aprendizagem do estudante) para decidir não somente sobre adaptar conteúdo, mas também determinar onde e quando alguém deve estudar, se deveria fornecer informações e alertas sobre os estudantes e professores a pais e gestores, e até mesmo qual professor deveria ministrar determinada aula.

3. Comportamento Híbrido Humano-Máquina: este é considerado o mais complexo e, ao mesmo tempo, o mais importante tipo de interação a ser considerada, principalmente na reflexão sobre as implicações éticas. Este modelo híbrido não exclui os anteriores e, em contexto educacional, é mais esperado que haja um comportamento híbrido entre humano e máquina, onde: i) máquinas moldam o comportamento humano; ii) humanos moldam o comportamento de máquina; ou iii) humanos e máquinas co-atuam (do inglês, *co-behavior*).

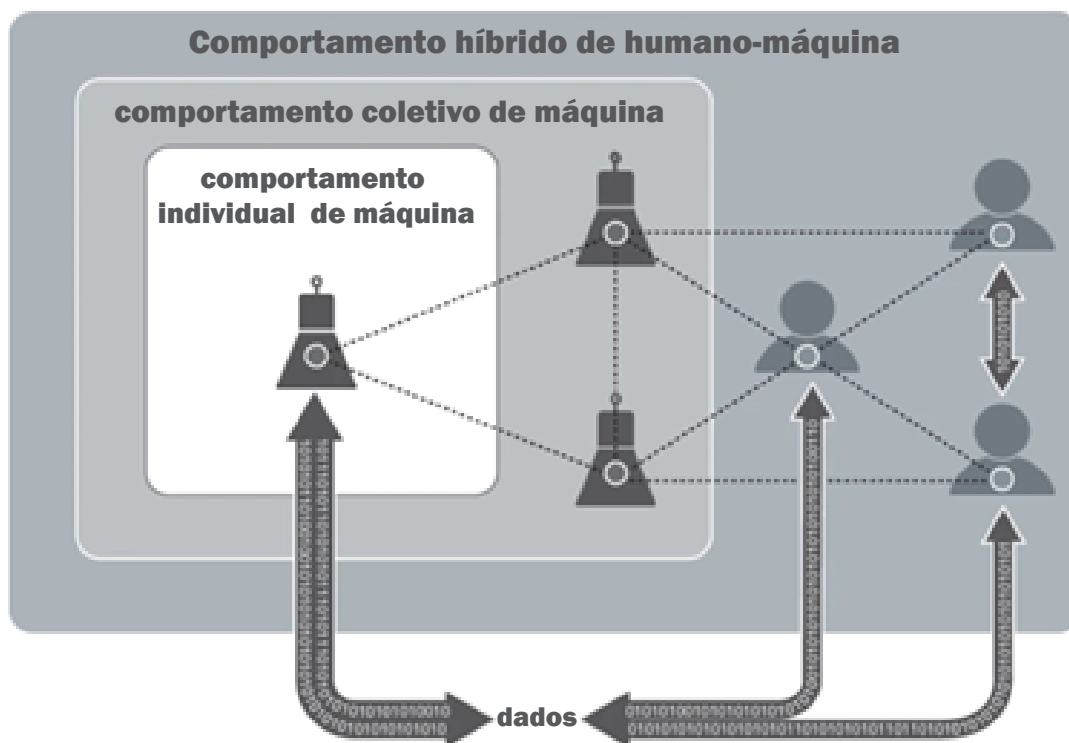


Figura 6. Escala de consulta no ecossistema do comportamento de máquina (adaptado de Rahwan *et al.*, 2019)



Tendo em vista a pervasividade e a ubiquidade da Inteligência Artificial, é evidente e premente o debate ético sobre as implicações da IA na Educação. Um dos primeiros debates sobre ética na IAED no Brasil aconteceu em 2017, no *Workshop Researcher Links: Higher Education for All*¹², que reuniu pesquisadores do Brasil e Reino Unido para refletir sobre tecnologia na educação. Em 2018, na *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (Reino Unido), houve um workshop dedicado exclusivamente a essa temática, intitulado *Ethics in IAED: Who Cares?* (Holmes *et al*, 2018). No ano de 2019, o tema da *Mobile Learning Week*, promovida pela Unesco, foi Inteligência Artificial para o Desenvolvimento Sustentável¹³.

Nesta conferência, o debate ético esteve muito presente, inclusive com o lançamento do Instituto Britânico de Ética na IAED (IEIAED)¹⁴, que tem como missão o desenvolvimento de mecanismos e arcabouços que garantam que o uso da IA na Educação seja projetado e distribuído de forma ética. Diante das várias implicações do uso das máquinas na sociedade, podendo gerar mudanças tanto incrementais quanto disruptivas nas formas de interação, muitas iniciativas começaram surgir nos últimos dois anos.

Não há como ignorar o debate sobre a ética na IAED. Tal temática é fundamental, pois, o que se percebe, nas pesquisas e soluções das empresas, é um verdadeiro vácuo moral. Pouco tem sido feito e muitos são os riscos que essa tecnologia pode trazer para a humanidade. Como o tema é muito recente, há mais perguntas do que respostas. A seguir, algumas questões em pauta (adaptados de Holmes, 2018):

¹² <http://newton.nees.com.br/>

¹³ <https://en.unesco.org/mlw>

¹⁴ <http://instituteforethicalaiineducation.org/>

- Quais devem ser os critérios para definir se uma tecnologia baseada em IAED é eticamente aceitável?
- Como a natureza volátil das características, interesses e emoções dos estudantes impactam o entendimento do que é ética em uma tecnologia ou pesquisa em IAED?
- Quais são as obrigações éticas de instituições públicas (governos, universidades e escolas envolvidas com a temática) e privadas (provedores de tecnologia) referentes à IAED?
- Como escolas, professores e estudantes podem dialogar com desenvolvedores e tomadores de decisão (gestores, diretores ou secretários de Educação) para que suas necessidades e crenças sejam levadas em consideração ao aplicar tecnologias que utilizam IAED no ambiente escolar?
- Quais são as implicações éticas ao se adotar uma determinada técnica de IAED para criar tecnologias de aprendizagem que apoiam a adaptação e a personalização?
- Quais são as implicações éticas no uso de tecnologias baseada em IAED que determinam automaticamente as habilidades que devem ser trabalhadas nos estudantes?
- Quais são as implicações e questionamentos éticos que devem ser considerados dado que muitas das decisões tomadas por algoritmos de IA não podem ser facilmente explicadas?

PRINCÍPIOS PARA ADOÇÃO DA IAED

Para finalizar este documento, propomos um guia básico de passos para adoção da IAED:





1. Capacitação dos atores: antes de se pensar em introduzir a IAED, é vital capacitar os atores do ecossistema educacional em questão (estudantes, professores e gestores) para que compreendam o que é a IA, suas capacidades, limitações e formas de aplicação na educação. Assim, o conceito abstrato e distante torna-se mais concreto e possível, amenizando os sentimentos de rejeição ou as expectativas irreais – o que facilitará a adoção. Idealmente, esta etapa deveria ser concomitante a sessões interativas para promover um debate sobre como a tecnologia pode apoiar tarefas administrativas e pedagógicas, bem como que tipos de dados são necessários para isso. Este passo é muito importante, pois servirá de base para a execução das duas atividades seguintes.

2. Preparação da infraestrutura para coleta de dados: é preciso avaliar quais dados podem ou precisam ser utilizados para instalar uma infraestrutura adequada para coletá-los. Caso necessário, deve-se instalar redes de *internet* ou *intranet*, computadores, sensores, câmeras, outros equipamentos e *softwares*. Também é fundamental pensar na ética e na transparência sobre a coleta e o uso dos dados, de forma a garantir que as informações sensíveis estejam sempre em segurança e anonimizadas.

3. Automatização do básico: com a infraestrutura e os dados coletados, já é possível realizar a automação de algumas atividades administrativas que podem beneficiar os atores do ecossistema. Por exemplo, para preencher automaticamente uma lista de chamada, não é preciso necessariamente uma IA, mas economiza tempo do professor em sala de aula. Da mesma forma, tarefas de casa, em vez de caderno podem utilizar um dispositivo com acesso à internet (smartphones).

4. Utilização de inteligência organizacional: com os dados coletados e os processos básicos automatizados, é possível adotar uma das técnicas da IAED, o learning analytics, para melhorar as informações sobre o ecossistema educacional. Essas informações podem ser utilizadas por gestores para entender as necessidades e as dificuldades dos atores do ecossistema, além de identificarem pontos mais críticos, que requerem ação imediata. Para o sucesso desta etapa (e também da etapa posterior), possivelmente, mais dados devam ser coletados, e novas formações e sessões interativas devam acontecer.





5. Valorização da IAED: este é o momento mais propício para introduzir todo o potencial da IAED no ecossistema educacional. Depois de identificar, no passo anterior, as principais dificuldades dos atores para realizar suas tarefas, é possível agora utilizar/criar aplicações específicas de IAED para aumentar as capacidades, de modo que eles próprios consigam superar os desafios, encontrando as soluções mais adequadas para cada situação. Neste contexto, a IAED torna-se peça indispensável para que um ator realize com sucesso suas atividades.

6. Reforma da instituição e do currículo: ao introduzir a IAED como peça importante no ecossistema, é possível redesenhar o ambiente de ensino e transformar o currículo escolar. O ecossistema educacional pode fomentar a aprendizagem híbrida e flexibilizar o currículo, possibilitando aos estudantes percorrer diferentes caminhos de aprendizagem.

7. Promoção da inclusão e da equidade: um dos grandes desafios da atualidade é promover e garantir a inclusão e a equidade da aprendizagem, independentemente da condição física, mental, de gênero ou socioeconômica do estudante. Este desafio envolve vários aspectos exógenos. No entanto, a IAED tem um grande potencial de auxiliar também nesse processo. Por exemplo, nesta etapa é possível introduzir ferramentas baseadas em IAED que garantam a integração ao ambiente escolar de estudantes com diferentes condições e necessidades especiais.

8. Crescimento sustentável: uma das características mais importantes da IAED é a possibilidade de aprender e evoluir de maneira sistemática. Dessa forma, o ambiente educacional estará sempre se retroalimentando com informações relevantes, que ajudam no constante aperfeiçoamento dos processos pedagógicos e organizacionais, além de contribuir para o crescimento de estudantes, professores e gestores.

REFERÊNCIAS

- Baker, R., Isotani, S., & Carvalho, A. (2011). Mineração de dados educacionais: Oportunidades para o Brasil. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 19(02), 03-13. Disponível em: <https://br-ie.org/pub/index.php/rbie/article/view/1301/1172>
- Bellman, R. E. (1978). *An Introduction to Artificial Intelligence: Can Computers Think?* Boyd & Fraser Publishing Company, San Francisco.
- Charniak, E. and McDermott, D. (1985). *Introduction to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts
- du Boulay, B. (2016). Recent meta-reviews and meta-analyses of AIED systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(1), 536-537.
- Beijing UNESCO (2019). Acessado em 23 de Agosto de 2019. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Beirut/pdf/Beijing.pdf>
- Bracht, F. (2011). Acessado em 23 de Agosto de 2019. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/computador-da-ibm-vence-de-lavada-dois-cerebros-humanos-em-jogo-de-conhecimentos-gerais/>
- Cardoso, A., Mackenzie, I. F., Kirner, C., & Tori, R. (2017, September). Development of educational resources with virtual and augmented reality: Challenges and perspectives. In *2017 XLIII Latin American Computer Conference (CLEI)* (pp. 1-6). IEEE.
- Dermeval, D., Albuquerque, J., Bittencourt, I. I., Isotani, S., da Silva, A. P., & Vassileva, J. (2019). GaTO: an Ontological Model to Apply Gamification in Intelligent Tutoring Systems. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 2(13), 1-13.
- Dermeval, Diego ; Albuquerque, Josmário ; Bittencourt, I. I.; Vassileva, J.; *et al.* Amplifying Teachers Intelligence in the Design of Gamified Intelligent Tutoring Systems. *Lecture Notes in Computer Science*. 1ed.: Springer International Publishing, 2018, v. , p. 68-73.
- DeepMind (2017). Acessado em 23 de Agosto de 2019. Disponível em: <https://deepmind.com/research/case-studies/alphago-the-story-so-far>
- Haugeland, J., editor (1985). *Artificial Intelligence: The Very Idea*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Hernandez-Orallo, J., & Vold, K. (2019). AI extenders: The ethical and societal implications of human cognitively extended by AI, AAAI 2019. Disponível em http://www.aies-conference.com/wp-content/papers/main/AIES-19_paper_83.pdf
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence In Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Holmes, W.; Bektik, D.; Woolf, B. and Luckin, R. (2019). Ethics in AIED: Who cares? In: *20th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED'19)*, 25-29 Jun 2019, Chicago.
- IBM (1997). Acessado em 23 de Agosto de 2019. Disponível em: <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/deepblue/>

Isotani, S., Mizoguchi, R., Bittencourt, I. I., & Costa, E. (2009). Estado da arte em web semântica e web 2.0: potencialidades e tendências da nova geração de ambientes de ensino na internet. *Brazilian Journal of Computers in Education*, 17(01), 30-42.

Isotani, S., & Bittencourt, I. I. (2015). *Dados Abertos Conectados: Em busca da Web do Conhecimento*. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2015. 176p.

Jaques, P. A., & Vicari, R. M. (2005). PAT: um agente pedagógico animado para interagir afetivamente com o aluno. *RENTE: revista novas tecnologias na educação*, 1-10.

Jaques, P. A., & Nunes, M. A. S. N. (2018) *Computação Afetiva aplicada à Educação*. Disponível em: <https://ieducacao.ceie-br.org/computacaoafetiva/>

Kerlyl, A., Hall, P., & Bull, S. (2006). Bringing chatbots into education: Towards natural language negotiation of open learner models. In *International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence* (pp. 179-192). Springer, London.

Kuyven, N. L., Antunes, C. A., de Barros Vanzin, V. J., da Silva, J. L. T., Krassmann, A. L., & Tarouco, L. M. R. (2018) Chatbots na educação: uma Revisão Sistemática da Literatura. *RENTE*, 16(1), 1-10.

Kurzweil, R. (1990). *The Age of Intelligent Machines*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M. & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence Unleashed. An argument for AI in Education*. London: Pearson.

Luger, G. F. and Stubblefield, W. A. (1993). *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. Benjamin/Cummings, Redwood City, California, second edition.

Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of educational psychology*, 106(4), 901-918

Moissa, B., Gasparini, I., & Kemczinski, A. (2015). Educational Data Mining versus Learning Analytics: estamos reinventando a roda? Um mapeamento sistemático. *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, p. 1167-1176.

Mozur, P. (2017). Acessado em 23 de Agosto de 2019. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2017/05/23/business/google-deepmind-alphago-go-champion-defeat.html>

McKinsey (2018). Acessado em 23 de Agosto de 2019. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/the-role-of-education-in-ai-and-vice-versa>

Newell, A. and Simon, H. A. (1961). GPS, a program that simulates human thought. In Billing, H., editor, *Lernende Automaten*, pages 109-124. R. Oldenbourg, Munich, Germany. Reprinted in (Feigenbaum and Feldman, 1963, pp. 279-293)

OCDE AI Principles - <https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles/>

Paiva, R.; Bittencourt, I. I.; Lemon, W.; Vinicius, A.; Dermeval, D. (2018) *Visualizing Learning Analytics and Educational Data Mining Outputs*. Lecture Notes in Computer Science. 1ed.: Springer International Publishing, 2018, v. , p. 251-256.

- 
- Pedro, F., Subosa, M., Rivas, A., & Valverde, P. (2019). Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366994>
- Rahwan, Iyad. *et al.* Machine behaviour. *Nature*, v. 568, p. 477–486, 2019. Available in: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1138-y#articleinfo>. Access in: 17 May 2019
- Redação Galileu (2019). Acessado em 23 de Agosto de 2019. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/07/inteligencia-artificial-vence-partida-de-poker-pela-primeira-vez.html>
- Reddy, T. (2017). Acessado em 23 de Agosto de 2019. Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/watson/2017/06/why-it-matters-that-ai-is-better-than-humans-at-their-own-games/>
- Rich, E. and Knight, K. (1991). *Artificial Intelligence*. McGraw-Hill, New York, second edition
- Russel, S. & Norvig, P. (2009). *Inteligência Artificial: Uma Abordagem Moderna*. ISBN-10: 0136042597. Pearson. 3° ed. 1152pp
- Schalkoff, R. I. (1990). *Artificial Intelligence: An Engineering Approach*. McGraw-Hill, New York
- Siemens, G. and Baker, R. S. J. d. (2012). Learning Analytics and Educational Data Mining: Towards Communication and Collaboration. *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, p. 252-254.
- Vicari, R. M. (2018) *Inteligência Artificial aplicada à Educação*. Disponível em: <https://ieducacao.ceie-br.org/inteligenciaartificial/>
- Winston, P. H. (1992). *Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, third edition



CENTRO DE INOVAÇÃO PARA
A EDUCAÇÃO BRASILEIRA

**INOVAÇÃO E CONEXÕES
QUE TRANSFORMAM
A EDUCAÇÃO**