

Inteligência Artificial na anestesiologia (2023-2025): Eficácia dos sistemas preditivos de hipotensão e otimização farmacológica em face dos entraves éticos e de implementação

Carlos Henrique Passos Mairink ¹

Resumo: A anestesiologia exige vigilância rigorosa, historicamente baseada na detecção reativa de eventos adversos. A introdução da Inteligência Artificial (IA), englobando Machine Learning (ML) e Deep Learning (DL) no triênio 2023-2025, marca uma transição para a gestão preditiva e proativa da segurança do paciente. O objetivo desta revisão é analisar a eficácia dos sistemas de IA na previsão da Hipotensão Intraoperatória (HIO) e na otimização da dosagem de medicamentos, ao mesmo tempo que se examinam os complexos desafios éticos, legais e de infraestrutura que limitam sua adoção generalizada. A literatura recente indica que ferramentas como o Hypotension Prediction Index (HPI) reduzem significativamente a carga de hipotensão, enquanto sistemas closed-loop aprimorados por ML demonstram maior precisão e economia no consumo de agentes anestésicos, como o Propofol. Contudo, a superação de barreiras como o risco de viés algorítmico, a ausência de um marco regulatório claro para a responsabilização civil e a necessidade de validação multicêntrica e treinamento continuado representam obstáculos significativos. A síntese das evidências reafirma a utilidade clínica da IA, mas destaca a urgência de estabelecer governança e educação robustas para garantir a equidade e a segurança do paciente na prática anestesiológica contemporânea.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; anestesiologia; hipotensão intraoperatória; infusão alvo-controlada; ética.

Artificial Intelligence in anesthesiology (2023-2025): Efficacy of predictive systems for hypotension and pharmacological optimization against ethical and implementation hurdles

¹ Professor Universitário, Doutor, Mestre, Pós-graduado e Discente do Curso de Medicina da Uninassau – Faculdade Uninassau Belo Horizonte. E-mail: passosmairink@gmail.com..

Abstract: Anesthesiology demands rigorous vigilance, historically based on the reactive detection of adverse events. The introduction of Artificial Intelligence (AI), encompassing Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) during the 2023-2025 triennium, marks a transition toward the predictive and proactive management of patient safety. The purpose of this review is to analyze the effectiveness of AI systems in predicting Intraoperative Hypotension (IOH) and optimizing drug dosage, while simultaneously examining the complex ethical, legal, and infrastructure challenges that limit their widespread adoption. Recent literature indicates that tools like the Hypotension Prediction Index (HPI) significantly reduce the burden of hypotension, while ML-enhanced closed-loop systems demonstrate greater precision and economy in the consumption of anesthetic agents such as Propofol. However, overcoming barriers such as the risk of algorithmic bias, the absence of a clear regulatory framework for civil accountability, and the need for multicenter validation and continuous training pose significant obstacles. The synthesis of evidence reaffirms the clinical utility of AI but highlights the urgency of establishing robust governance and education to ensure patient safety and equity in contemporary anesthetic practice.

Keywords: Artificial Intelligence; anesthesiology; intraoperative hypotension; target-controlled infusion; ethics.

1 INTRODUÇÃO

A prática anestesiológica moderna é definida pela exigência de uma vigilância constante e pela capacidade de resposta imediata a eventos fisiológicos adversos que podem se manifestar no ambiente perioperatório. Historicamente, o monitoramento dependeu da detecção reativa de desfechos hemodinâmicos já instalados, mas a introdução da Inteligência Artificial (IA) no triênio 2023-2025 vem fomentando uma alteração de paradigma, movendo o foco para a gestão preditiva e proativa do paciente. Essa transformação permite que o clínico antecipe eventos em vez de apenas reagir a eles (Klingelfus et al., 2025).

A Inteligência Artificial, utilizando técnicas avançadas de Machine Learning (ML) e Deep Learning (DL), oferece mecanismos para a análise integrada de um grande volume de parâmetros fisiológicos em tempo real, fornecendo novas perspectivas sobre a titulação e a administração dos agentes anestésicos. Este refinamento na capacidade de processamento de dados busca elevar a precisão clínica dos procedimentos, possibilitando a individualização do atendimento e, conseqüentemente, o aprimoramento geral da segurança perioperatória (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

A Hipotensão Intraoperatória (HIO) é uma intercorrência frequente, e seu manejo adequado é tema de importantes consensos internacionais que estabelecem limiares de Pressão Arterial Média (PAM) que devem ser respeitados. O consenso POQI, por exemplo, sugere a manutenção da PAM acima de a PAM ≥ 60 mmHg em pacientes que já apresentam um risco elevado de morbidade cardiovascular ou orgânica. A adesão a esses limiares é fundamental para proteger os órgãos vitais durante o procedimento (Saugel et al. 2024).

A HIO está consistentemente associada a desfechos adversos pós-operatórios, sendo a lesão renal aguda e a lesão miocárdica duas das complicações secundárias mais amplamente discutidas na literatura. O monitoramento intermitente, ainda praticado em alguns ambientes, é um fator que contribui para a detecção tardia da hipotensão, o que justifica a busca por intervenções preditivas e proativas que permitam antecipar o insulto fisiológico (Saugel et al. 2024).

A fisiopatologia da HIO é multifatorial, frequentemente causada pela combinação da depressão miocárdica e da vasodilatação periférica induzidas pelos agentes anestésicos, somadas a variações no volume intravascular e no tônus vascular do paciente. Embora muitas das observações que sugerem os efeitos deletérios da HIO derivem de estudos retrospectivos publicados entre

2023 e 2024, a necessidade de mitigar a duração e a severidade de qualquer evento hipotensivo é um objetivo clínico consolidado na especialidade (Chang, et al. 2025).

O risco de complicações neurológicas e o agravamento da morbidade geral reforçam a necessidade de vigilância, incluindo o monitoramento neurológico e cognitivo pós-operatório em pacientes vulneráveis. A literatura mais recente aponta a prevenção da HIO como um passo fundamental para mitigar o agravamento de manifestações neurológicas, que podem ser subdiagnosticadas em cirurgias de rotina (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

A prevenção da HIO, facilitada pela capacidade preditiva da IA, oferece a possibilidade de redução de complicações pós-operatórias que, por sua vez, geram custos significativos ao sistema de saúde. A intervenção precoce e proativa visa não apenas a segurança imediata do paciente, mas também a redução de despesas associadas a disfunções orgânicas e ao prolongamento do tempo de internação.

A realização desta revisão é justificada pela urgência de consolidar os avanços técnicos observados no período de 2023 a 2025, um momento de intensa pesquisa em sistemas closed-loop e novos índices preditivos. O foco em ferramentas como o Hypotension Prediction Index (HPI) e em modelos de Infusão Alvo-Controlada (TCI) aprimorados pelo Machine Learning busca estabelecer de forma objetiva a eficácia clínica real dessas ferramentas.

A implementação da IA enfrenta barreiras que são predominantemente não-técnicas, incluindo a ausência de marcos regulatórios claros para lidar com o viés algorítmico, a proteção de dados sensíveis conforme a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) e as incertezas sobre a responsabilização civil em caso de falha do sistema (Lourenço, 2025).

A pesquisa é fundamental para alertar sobre esta discrepância entre o rápido avanço tecnológico e o lento desenvolvimento dos quadros éticos e educacionais necessários para uma adoção segura.

Diante da rápida evolução da Inteligência Artificial no cenário perioperatório, e com o intuito de fundamentar sua adoção segura e ética, este artigo de revisão se propõe como objetivo geral analisar criticamente a literatura científica recente (2023-2025) sobre a IA e a segurança do paciente em anestesiologia. E os objetivos específicos visam sintetizar o desempenho dos sistemas preditivos de Hipotensão Intraoperatória, como o Machine Learning e o HPI, e dos sistemas de otimização da dosagem de medicamentos (como a Infusão Alvo-Controlada TCI), avaliando sua acurácia e impacto clínico na precisão farmacológica individualizada. Em complemento, o trabalho busca identificar e discutir os principais entraves éticos, legais (incluindo a LGPD) e de implementação tecnológica (infraestrutura, custos e validação) para a adoção clínica segura, concluindo com a sugestão de estratégias de governança e educação continuada essenciais para mitigar os riscos e promover a utilização equitativa da IA na prática anestesiológica.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A Gestão Proativa da Hipotensão Intraoperatória

A capacidade de prever a Hipotensão Intraoperatória (HIO) antes da sua manifestação hemodinâmica representa a transição do monitoramento reativo para a gestão proativa, um avanço viabilizado pela análise de grandes volumes de dados fisiológicos dos pacientes. O reconhecimento deste potencial pela comunidade científica tem resultado em uma ênfase crescente na aplicação da IA para reduzir a lesão orgânica associada à diminuição da perfusão (Mukkamala et al. 2025)

O Hypotension Prediction Index (HPI), uma tecnologia pioneira, utiliza algoritmos de Machine Learning para calcular, com antecedência de minutos, a probabilidade de ocorrência de HIO. Este tempo de aviso permite a intervenção terapêutica antes que o declínio pressórico se estabeleça, transformando o monitoramento contínuo em uma métrica clínica de orientação para o profissional (Saugel et al. 2024).

Estudos de validação recentes, conduzidos sob rigor metodológico, confirmam que a intervenção guiada pelo HPI está associada a uma redução da carga de hipotensão, mensurada pelo Time Weighted Average (TWA) abaixo de a PAM ≥ 65 mmHg. A diminuição do TWA, que é um indicador do insulto fisiológico, sugere que a intervenção precoce é eficaz em limitar a profundidade e a duração do evento adverso (Felippe et al. 2025).

Para além da redução do TWA, a utilização dos índices preditivos de IA também demonstrou ser associada a uma Área Sob a Curva (AUC) significativamente menor para o tempo em que a pressão arterial média permaneceu abaixo do limiar estabelecido. Tais achados quantificáveis, relatados em análises do período de 2023 e 2024, oferecem evidências para a superioridade dos sistemas preditivos em comparação com a dependência exclusiva do monitoramento padrão (Felippe et al. 2025).

A confiabilidade da acurácia preditiva dos modelos de Machine Learning é um foco contínuo da pesquisa, com estudos de 2025 demonstrando que o desempenho do HPI na predição de hipotensão com cinco minutos de antecedência atinge níveis elevados. As métricas de desempenho que se aproximam de 0.88 para a AUC indicam a capacidade técnica desses algoritmos em fornecer um aviso prévio fidedigno ao anestesiológista (Sarhadi et al. 2025).

Um avanço que facilita a implementação generalizada é a demonstração de que o HPI pode ser derivado com desempenho comparável a partir de entradas de pressão invasivas (intra-arterial) e não invasivas. Essa equivalência de performance é significativa, pois permite a adoção da tecnologia em ambientes cirúrgicos onde o monitoramento invasivo pode não ser justificado, aumentando sua aplicabilidade (Sarhadi et al. 2025).

Apesar da eficácia técnica na redução da carga de hipotensão, a interpretação dos resultados requer a consideração da necessidade de validação prospectiva que ligue a redução do TWA a desfechos definitivos de órgãos. Embora a lesão renal aguda e a lesão miocárdica pós-operatória sejam complicações claramente associadas à hipotensão, a prova de que a predição via IA impacta positivamente a incidência destas complicações a longo prazo ainda está em fase de consolidação em ensaios controlados (Chang et al. 2025).

O manejo hemodinâmico por meio de estratégias guiadas, incluindo o HPI, tem sido avaliado em ensaios clínicos randomizados para determinar seu efeito na redução da incidência de hipotensão. Os resultados de estudos publicados entre 2023 e 2024 indicam que a utilização do índice preditivo leva a uma incidência menor de hipotensão perioperatória em comparação com o manejo hemodinâmico convencional (Zhang et al. 2025).

O consenso internacional POQI de 2024 estabelece a estrutura para o gerenciamento da pressão arterial, fornecendo o contexto para que as novas tecnologias preditivas baseadas em IA se integrem ao padrão de cuidado. A existência de diretrizes claras sobre o limiar e a duração aceitável da hipotensão auxilia a equipe clínica na definição de objetivos de tratamento para os algoritmos de IA (Guerra-Londono et al. 2025)

A pesquisa recente sugere que a monitorização contínua da pressão arterial é preferível à monitorização intermitente para reduzir a severidade e a duração da hipotensão, um princípio que é reforçado pelo uso de ferramentas preditivas. A IA aprimora a detecção, introduzindo uma capacidade que permite a inversão da gestão hemodinâmica de uma postura reativa para uma conduta proativa (Klingelfus et al., 2025).

2.2 Otimização Farmacológica e Sistemas Closed-Loop

A titulação de medicamentos anestésicos, como o Propofol e o Remifentanil, utiliza tradicionalmente a Infusão Alvo-Controlada (TCI) baseada em modelos farmacocinéticos clássicos, que estimam as concentrações no plasma ou no sítio efetor (Aguda et al., 2025). A limitação reside na dependência desses modelos de parâmetros populacionais, que podem não refletir a variação metabólica individual, exemplificada em pacientes com função hepática comprometida (Kamel et al. 2024).

O avanço da IA permitiu o desenvolvimento de sistemas de circuito fechado (closed-loop), que integram modelos preditivos de Machine Learning com feedback fisiológico em tempo real, frequentemente utilizando o índice bispectral (BIS) como variável de controle. Estes sistemas fornecem um manejo mais estável e consistente da profundidade anestésica em comparação com os métodos manuais de titulação dos agentes (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

Estudos recentes de 2025, com foco na otimização da dosagem, indicaram que o desempenho do controlador closed-loop se mantém dentro da faixa esperada para sistemas de alta performance. Estes resultados mostram que os sistemas são capazes de manter a profundidade anestésica no ponto de ajuste estabelecido com um alto grau de precisão ao longo da duração do procedimento (Li X, et al. 2025).

Um achado relevante em ensaios randomizados de 2025 foi a capacidade demonstrada pelo sistema closed-loop de otimizar o consumo de Propofol em cenários farmacológicos complexos, como a coadministração de Esquetamina. Ao ajustar a linha de base do BIS para acomodar o efeito adicional no EEG, observou-se uma diminuição no consumo total do agente anestésico (Li X, et al. 2025).

A redução documentada no consumo de Propofol, que atingiu uma diferença estatisticamente significativa em comparação com o grupo controle, sugere que o sistema closed-loop baseado em feedback ajustado permite uma titulação mais econômica e eficiente do fármaco. Esta precisão farmacológica, adaptada ao paciente individual, contribui para a otimização da dose total administrada (Li X, et al. 2025).

Em relação à segurança, a operação do sistema closed-loop utilizando a linha de base do BIS ajustada se demonstrou viável, sem aumentar a ocorrência de eventos adversos. Os estudos indicam que não houve diferença estatística na incidência de consciência intraoperatória, nem em desfechos pós-operatórios comuns, como náusea, vômito ou tremores (Li X, et al. 2025).

A fronteira tecnológica se expande com o uso de técnicas de Reinforcement Learning (Aprendizado por Reforço), que permitem que os algoritmos de dosagem aprendam continuamente e ajustem os hiperparâmetros dinamicamente durante a infusão. Estes sistemas avançados têm o potencial de superar as limitações dos controladores proporcionais-integrais clássicos, adaptando-se a mudanças fisiológicas não modeladas (Hua et al. 2025).

A aplicação de Machine Learning em modelos mais complexos está sendo explorada para a titulação de opióides e a previsão de dor, com modelos recentes de 2025 alcançando alta acurácia (AUROC) na previsão de recuperação pós-

operatória. Esta capacidade preditiva sinaliza a evolução em direção à gestão multi-modal da anestesia, integrando hipnose e analgesia de forma automatizada (Hua et al. 2025).

A literatura de 2023-2025 enfatiza a necessidade de monitorar o efeito da droga, e não apenas a concentração plasmática estimada, especialmente para pacientes que apresentam alta variabilidade metabólica. Os sistemas closed-loop endereçam esta demanda ao integrar o monitoramento contínuo (como o BIS) como sinal de feedback em tempo real para a tomada de decisão (Kamel et al. 2024).

O foco na otimização farmacológica individualizada reflete um movimento mais amplo em direção à medicina de precisão na anestesiologia. Embora a personalização da dosagem demonstre potencial para melhorar desfechos, a validação clínica destes sistemas exige a realização de ensaios clínicos randomizados de grande escala e multicêntricos (Evrans et al. 2025).

2.3 Barreiras de Implementação Tecnológica e Logística

A adoção generalizada da IA na anestesiologia no período de 2023 a 2025 é notoriamente limitada por fatores que vão além do desempenho técnico dos algoritmos. Um obstáculo primário reside na exigência de requisitos de infraestrutura digital robusta, incluindo conectividade de internet estável e hardware de alto custo capaz de suportar o processamento em tempo real (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

O custo elevado associado às tecnologias de monitoramento avançado e aos sistemas de IA representa uma barreira logística, que se torna particularmente restritiva em hospitais com orçamento limitado ou em contextos de saúde global com recursos escassos. Este fator financeiro inibe a

expansão equitativa da IA para todos os sistemas de saúde, concentrando-a em centros de excelência (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

A necessidade de validação multicêntrica emerge como uma barreira metodológica para garantir a generalização dos modelos preditivos. Embora muitos modelos de Machine Learning demonstrem alta performance (altos AUROCs) em seu centro de origem, a carência de validação externa em amostras amplas e geograficamente diversas limita a confiança em sua aplicabilidade universal (Dhar et al. 2025)

As lacunas na validação levantam preocupações fundamentadas sobre a confiabilidade dos modelos preditivos quando aplicados em ambientes clínicos variados, o que se conecta ao risco de viés. A comunidade científica exige que a acurácia reportada resista ao crivo da validação em diversas populações, garantindo a equidade do cuidado (Saugel et al. 2024).

A insuficiência de dados de alta qualidade e em larga escala para o treinamento de novos algoritmos de IA é um desafio contínuo que necessita de atenção dos desenvolvedores. A dependência de conjuntos de dados robustos e bem curados é um pré-requisito para o desenvolvimento de modelos que sejam transparentes e que não se comportem como uma "caixa-preta" (Le; Elvir-Lazo; Wong, 2025).

A falta de programas de educação formal e treinamento direcionado para os anestesiológicos configura uma barreira humana e logística significativa para a adoção. A percepção da IA como uma tecnologia excessivamente complexa ou abstrata, cujo uso clínico não é amplamente difundido, prejudica a aceitação e a integração da ferramenta na rotina diária (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

A ausência de políticas claras e marcos regulatórios adequados para o uso de dispositivos de IA na medicina também impede a sua adoção ampla e segura.

A infraestrutura política e legal deve evoluir em velocidade compatível com o avanço tecnológico para fornecer segurança jurídica e governança à prática clínica (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

A experiência histórica com sistemas automatizados anteriores indica que, mesmo com segurança e eficácia comprovadas em ambientes controlados, as preocupações de custo e as barreiras regulatórias podem restringir severamente o uso. Este contexto reforça que fatores não-técnicos podem ser os determinantes para a adoção ou rejeição de uma nova tecnologia (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

A relação custo-efetividade é um ponto de debate relevante, considerando que o investimento inicial em tecnologia avançada pode ser substancial. A justificativa para este gasto depende da evidência de que a prevenção de complicações compensa os custos, mas a percepção do valor agregado em pacientes de baixo risco ainda é questionada (Gaik et al. 2025).

A literatura sugere que abordagens colaborativas, como parcerias entre governos, organizações não-governamentais e empresas privadas, são necessárias para superar os déficits de infraestrutura e custos. O subsídio à tecnologia e a expansão das pipelines de treinamento são medidas consideradas essenciais para garantir a adoção equitativa (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

2.4 Implicações Éticas e Legais

As implicações éticas e legais da IA em anestesiologia compõem um campo de estudo recente e de grande complexidade, sendo a questão do viés algorítmico um risco persistente que exige mitigação. Este viés pode surgir da composição não representativa dos dados de treinamento, o que compromete a equidade dos resultados, especialmente para pacientes de populações que não foram incluídas nos ensaios de validação (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

A falta de transparência e a natureza opaca de "caixa-preta" de alguns modelos de Machine Learning levantam preocupações sobre a capacidade dos clínicos de justificar as decisões e sobre a confiança do usuário na ferramenta. É uma exigência que os clínicos consigam entender e confiar nas recomendações geradas pela IA para que o uso seja responsável (Le; Elvir-Lazo; Wong, 2025).

A privacidade e a proteção de dados sensíveis, como os sinais vitais contínuos processados pela IA, exigem total conformidade com as legislações vigentes, como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) no Brasil. O processamento e o armazenamento desses dados requerem processos rigorosos de anonimização e criptografia para garantir a segurança da informação do paciente (Paula et al. 2025)

O debate sobre a responsabilização civil é um desafio legal que permanece sem uma solução clara na literatura, especialmente no que tange aos sistemas semi-autônomos que demonstram autonomia considerável. A delimitação da responsabilidade em caso de erro da máquina, se recaindo sobre o anestesiológista, a instituição de saúde ou os desenvolvedores do algoritmo, ainda está em aberto (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

O dilema legal é acentuado pela ausência de consenso claro sobre onde reside a responsabilidade em um ambiente onde o julgamento clínico humano interage diretamente com a recomendação algorítmica. Esta ambiguidade legal representa um fator limitante na adoção da tecnologia por profissionais e instituições de saúde, aumentando o risco jurídico-clínico (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

A equidade no acesso e nos resultados é uma responsabilidade ética primordial que acompanha a implementação da IA. Se os algoritmos forem validados apenas em centros de excelência ou em contextos clínicos limitados, a

aplicação da IA não será universalmente segura, o que levanta preocupações sobre a disparidade no cuidado entre diferentes grupos populacionais (Lourenço, 2025).

A conformidade com as regulamentações de privacidade exige a implementação de técnicas de aprimoramento de privacidade (PETs), como a privacidade diferencial e a binning temporal de eventos. Estas técnicas procuram garantir a confidencialidade dos dados, ao mesmo tempo que preservam a utilidade do modelo preditivo para a pesquisa e o uso clínico (Gouthamchand, 2025).

O processo de consentimento informado é complexo quando a ferramenta de tratamento (o algoritmo) possui baixa explicabilidade ou opacidade. O paciente deve ser informado sobre o mecanismo de decisão do tratamento, e a natureza de "caixa-preta" dificulta o cumprimento desse princípio ético fundamental (Gouthamchand, 2025).

A IA deve ser utilizada para auxiliar os médicos na tomada de decisões, mas a prioridade deve ser sempre a manutenção da conexão médico-paciente e a integridade do julgamento humano. Os sistemas de IA são ferramentas de apoio e não devem ser vistos como substitutos da experiência e da supervisão clínica (Kambale; Jadhav, 2024)

A discussão ética de 2023-2025 foca na necessidade de governança robusta para lidar com os riscos, concluindo que o desempenho técnico sozinho não será o único fator determinante da adoção da IA. A confiança do clínico, os quadros de governança e os marcos regulatórios são elementos que terão um peso equivalente na decisão de implementação (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

2.5 Estratégias de Governança e Regulação

A promoção da adoção segura da IA na anestesiologia exige o estabelecimento de estratégias de governança que abordem a necessidade de transparência e a mitigação de riscos. A governança deve atuar para criar um ambiente onde a tecnologia possa ser auditada, compreendida e integrada de forma responsável na prática clínica (Le; Elvir-Lazo; Wong, 2025).

A educação continuada é um componente fundamental para mitigar o fator humano e a resistência inerente à adoção de novas tecnologias. A inclusão de módulos sobre a interpretação de algoritmos e o uso ético da IA deve ser integrada nos programas de residência e na formação continuada dos anestesiológicos (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

Para enfrentar o desafio da privacidade e o cumprimento de normas como a LGPD, o desenvolvimento de modelos de federated learning (aprendizado federado) é uma estratégia promissora. Este método permite o treinamento de algoritmos utilizando dados de múltiplos centros de saúde, preservando a privacidade dos dados brutos dos pacientes em cada instituição (Le; Elvir-Lazo; Wong, 2025).

A ausência de programas de treinamento formal para anestesiológicos sobre a aplicação prática da IA é um obstáculo que precisa ser superado com planejamento. É necessário transformar a IA de uma "tecnologia abstrata" em uma ferramenta clínica prática e compreensível, o que só é possível por meio de educação específica e baseada em casos reais (Kambale; Jadhav, 2025).

Em relação à segurança do paciente e à responsabilização profissional, as diretrizes de governança precisam reforçar que a decisão final de tratamento deve sempre recair sobre o anestesiológico, mantendo a supervisão humana. A

supervisão humana é considerada a salvaguarda que impede que um erro algorítmico se traduza em um dano real ao paciente (Kambale; Jadhav, 2025).

A criação de um marco regulatório robusto para a responsabilização civil é um passo necessário para proteger o profissional em caso de falha do sistema automatizado. A regulamentação deve rastrear claramente a responsabilidade, definindo os limites entre a falha do desenvolvedor, da instituição ou o erro de julgamento clínico (Lourenço, 2025)

A mitigação do viés algorítmico, uma preocupação de segurança e equidade, passa pela exigência de que os desenvolvedores validem seus modelos em populações globais e diversas antes da liberação clínica. A equidade de acesso e de resultados depende da robustez e da generalizabilidade dos algoritmos em diferentes contextos clínicos (Gouthamchand, 2025).

A literatura de 2023-2025 sugere que a infraestrutura política e as parcerias entre os setores público e privado são essenciais para reduzir as disparidades na implementação tecnológica. O subsídio e o desenvolvimento de infraestrutura digital são medidas que podem promover a adoção equitativa da IA em sistemas de saúde com menos recursos (Giri; Firdhos; Vida, 2025).

A colaboração interprofissional entre a clínica anestesiológica e a ciência de dados é fundamental para a criação de algoritmos que sejam clinicamente relevantes e inerentemente seguros. Esta abordagem garante que o desenvolvimento tecnológico esteja focado na otimização farmacológica e na segurança do paciente, em vez de apenas na acurácia matemática (Evrans et al. 2025).

A transparência nos mecanismos de decisão da IA é importante para o consentimento informado e para o diálogo ético com o paciente. As estratégias

de governança devem, portanto, impor um nível mínimo de explicabilidade para que o uso da IA seja considerado aceitável do ponto de vista ético e legal.

3 METODOLOGIA

O presente estudo foi concebido sob a modalidade de Revisão Narrativa da Literatura, uma abordagem que permite a análise abrangente e a síntese crítica dos avanços tecnológicos, juntamente com os complexos desafios não-técnicos associados à Inteligência Artificial na Anestesiologia. Esta metodologia confere o escopo necessário para abordar um tema multifacetado que engloba clínica, engenharia e direito.

A delimitação temporal da pesquisa concentrou-se no período de Janeiro de 2023 a Dezembro de 2025, estabelecendo uma janela que captura os avanços mais recentes e as discussões contemporâneas sobre a implementação e a governança da IA. Foram consideradas publicações disponíveis em texto completo nos idiomas Português e Inglês, maximizando a captação de evidências relevantes.

A estratégia de busca de referenciais teóricos foi rigorosamente executada utilizando exclusivamente a base de dados PubMed/MEDLINE, conforme a regra metodológica estabelecida para garantir a relevância e a validade científica das fontes utilizadas. Esta seleção garante a inclusão de artigos que passaram pelo processo de revisão por pares e que possuem alto impacto na área médica.

Os descritores de busca foram estruturados em combinações complexas de termos controlados e livres, abrangendo os três focos temáticos principais: predição de hipotensão (HPI), otimização farmacológica (closed-loop, Reinforcement Learning) e as implicações éticas e legais (viés algorítmico, LGPD, responsabilização civil). Esta segmentação permitiu uma exploração direcionada da literatura recente.

Os critérios de inclusão favoreceram estudos de coorte, ensaios clínicos randomizados, revisões sistemáticas e artigos de opinião/revisão que apresentassem uma metodologia transparente e relevância direta para a segurança anestesiológica. Foram excluídos editoriais, cartas ao editor e estudos de modelagem sem aplicação clínica explícita.

A análise dos dados extraídos foi estritamente qualitativa, focando na extração de indicadores de desempenho (como a AUC para acurácia e o TWA para impacto clínico) para a eficácia, e na síntese crítica dos argumentos sobre as barreiras não-técnicas. A conformidade das referências foi assegurada pela aplicação da norma brasileira ABNT NBR 6023 de 2018.

4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

A tabela a seguir consolida os achados mais importantes dos artigos de pesquisa e revisão (2023–2025) que abordam a eficácia dos sistemas de Inteligência Artificial e os principais entraves éticos, legais e de implementação.

Referência (Ano)	Objetivo/Foco da Pesquisa	Achados Chave e Eficácia (Resposta ao Objetivo)	Entraves e Implicações Críticas
Felippe V. A. et al. (2025)	Eficácia do HPI (Predição de HIO) em cirurgias não-cardíacas.	Meta-análise comprova que o uso do HPI reduz significativamente a severidade e a duração da Hipotensão Intraoperatória (HIO), diminuindo o Time-Weighted Average (TWA) e a Area Under the Curve (AUC) da PAM abaixo de 65 mmHg.	Não observou diferença significativa na incidência de Lesão Renal Aguda (LRA) ou no uso de vasopressores, indicando lacuna na evidência de desfechos orgânicos duros.
Li X. et al. (2025)	Viabilidade e segurança de sistemas <i>closed-loop</i> TCI em coadministração com Esquetamina (Otimização Farmacológica).	Validação do sistema closed-loop TCI com Propofol baseado em Índice Bispectral (BIS) ajustado, resultando em titulação mais eficiente e diminuição estatisticamente significativa no consumo total de Propofol.	A farmacologia complexa (uso de Esquetamina que altera o baseline do BIS) exige ajustes algorítmicos e validação específica para garantir a segurança e eficácia do sistema closed-loop.
Lourenço M. G. (2025)	Implicações Éticas e Legais da IA em anestesiologia.	A IA é promissora, mas persistem incertezas sobre a responsabilização	A ausência de consenso sobre a responsabilização civil é

		civil em caso de erros do sistema semi-autônomo. Necessidade de marco regulatório claro e governança robusta.	um desafio legal que limita a adoção. A regulamentação deve focar na segurança, equidade de acesso e validação multicêntrica.
Giri R.; Firdhos; Vida T. A. (2025)	Revisão sobre Precisão, Segurança e Acesso Global da IA em Anestesia.	Sistemas preditivos (HIO, LRA) e closed-loop (titulação) demonstram forte desempenho, reduzindo a carga de trabalho do clínico e permitindo intervenção mais precoce.	Principais barreiras são não-técnicas: viés algorítmico, falta de validação multicêntrica, alto custo de infraestrutura e escassez de educação/treinamento formal. Risco de a IA aprofundar a disparidade tecnológica global.
Hua C. et al. (2025)	Previsão da recuperação pós-operatória utilizando <i>Swarm Intelligence Machine Learning</i> .	Modelo interpretável de Swarm Intelligence (XGBoost) alcança alta acurácia (ROC-AUC de 0.8383 na validação externa) na previsão da recuperação pós-operatória.	O modelo é baseado em 7 variáveis preditoras (duração da cirurgia/anestesia, NLR, PCR, creatinina, IMC e idade). O benefício clínico está em auxiliar na formulação de planos de intervenção subsequentes.
Saugel B. et al. (2024)	Consenso POQI sobre Gerenciamento Perioperatório da Pressão Arterial (Contexto da HIO).	Consenso internacional recomenda manter a PAM ≥ 60 mmHg em pacientes de risco. Reforça que a HIO (PAM < 60 -70 mmHg) está associada a Lesão Renal Aguda, Lesão Miocárdica e morte.	Estabelece o limiar de dano orgânico e a necessidade de monitoramento contínuo da pressão arterial para reduzir a severidade e a duração da hipotensão.
Le L.; Elvir-Lazo O. L.; Wong R. (2025)	Revisão sobre aplicações, desafios e roteiro futuro da IA na Anestesia.	Destaca a utilidade da IA no monitoramento, estratificação de risco e titulação. Reconhece que a IA deve ser vista como um suporte de decisão.	A falta de transparência ("caixa-preta") em alguns modelos de ML levanta preocupações éticas e limita a confiança do usuário e a capacidade de justificar decisões.
Sarhadi K. et al. (2025)	Comparação do HPI (Índice Preditivo de Hipotensão) com entradas de pressão invasiva vs. não invasiva.	Demonstra que o HPI pode ser derivado com desempenho preditivo comparável a partir de entradas de pressão invasivas (intra-arterial) e não invasivas.	Essa equivalência de performance resolve uma barreira logística, permitindo a adoção da tecnologia em ambientes onde o monitoramento invasivo não é justificado.
Kamel Y. et al. (2024)	Uso do Índice Bispectral (BIS) em TCI de Propofol em pacientes com cirrose hepática.	Em pacientes com alta variabilidade metabólica (cirrose), o monitoramento do efeito da droga (via BIS) é crucial, pois a estimativa da concentração plasmática baseada em modelos populacionais (TCI clássica) é insuficiente.	O estudo justifica o foco dos sistemas closed-loop na integração de feedback de efeito em tempo real (BIS) para superar as limitações dos modelos farmacocinéticos tradicionais.

Kambale M.; Jadhav S. (2024)	Revisão Sistemática sobre Aplicações da IA em Anestesia.	A IA tem potencial para melhorar a segurança do paciente e a eficiência da sala de cirurgia, mas deve ser vista estritamente como uma ferramenta de apoio à decisão.	Preocupações com a substituição do julgamento humano, resistência profissional e a ausência de programas de treinamento formal são barreiras significativas. A supervisão humana é a salvaguarda final.
Evran T. et al. (2025)	Análise bibliométrica de tendências em Anestesia.	O movimento em direção à medicina de precisão na anestesiologia, impulsionado pela IA, exige a realização de ensaios clínicos randomizados de grande escala e multicêntricos para validação clínica.	A colaboração interprofissional entre clínicos e cientistas de dados é fundamental para criar algoritmos clinicamente relevantes e seguros (Generalização).
Gouthamchand V. (2025)	Privacidade e Ética em Big Data e IA em Oncologia (Aplicável à Anestesia).	Para garantir a privacidade de dados sensíveis (em conformidade com a LGPD) e mitigar o viés algorítmico, técnicas como federated learning (Aprendizado Federado) e differential privacy são essenciais.	A garantia da equidade e segurança passa pela exigência de que os modelos sejam validados em populações globais e diversas antes da liberação clínica.
Chang Y. et al. (2025)	HIO e Desfechos Pós-Operatórios (Pneumonia).	Estudo retrospectivo associa consistentemente a Hipotensão Intraoperatória com desfechos adversos pós-operatórios, como o aumento da incidência de pneumonia após ressecção de tumor intracraniano.	Reforça o objetivo clínico consolidado de mitigar a duração e a severidade de qualquer evento hipotensivo como um passo fundamental para reduzir a morbidade geral.
Lai C. Y. et al. (2024)	Efeito do HPI em resultados de cirurgia não-cardíaca de alto risco.	Meta-análise de ensaios randomizados (RCTs) que investiga o efeito da intervenção guiada por HPI. Conclui que o HPI leva a uma incidência menor de hipotensão perioperatória.	Corroborar com os achados de Felipe et al., 2025, destacando a necessidade de ligar a redução do TWA a desfechos definitivos de órgãos (LRA, Lesão Miocárdica).
Aguda O. E. et al. (2025)	Desenvolvimento de Modelo de IA para Otimização da Dosagem de Anestesia de Precisão.	O desenvolvimento de modelos de IA é crucial para a individualização da dosagem e para superar as limitações dos modelos TCI baseados em farmacocinética populacional (que falham em pacientes com alta variabilidade metabólica).	O foco da pesquisa é o desenvolvimento técnico e a precisão individualizada, visando aprimorar o desempenho clínico e a segurança perioperatória.

4.1 Integração da Capacidade Preditiva e Redução da Carga de Morbidade

A evolução dos sistemas de monitoramento na anestesiologia, impulsionada pelo Machine Learning (ML), solidificou o argumento de que a Inteligência Artificial pode mitigar a carga fisiológica imposta pela Hipotensão Intraoperatória (HIO). Os resultados da literatura, especialmente no período de 2023 a 2025, demonstram que a intervenção guiada por índices preditivos, como o HPI, leva a uma redução documentada nas métricas de Time Weighted Average (TWA) abaixo dos limiares de segurança. Esta diminuição do TWA não é apenas uma melhoria técnica, mas uma evidência de que a duração e a severidade do insulto hipotensivo ao paciente são limitadas, o que se correlaciona com a preservação da função orgânica.

Observa-se, contudo, que a transição do foco é progressiva: não basta apenas prever o evento hemodinâmico com alta acurácia; é mandatório provar que a intervenção preditiva se traduz em benefícios macro-clínicos mensuráveis, como a redução da incidência de lesão renal aguda ou lesão miocárdica pós-operatória a longo prazo. O valor completo da IA só será realizado quando a redução do TWA for inequivocamente ligada à melhoria desses desfechos orgânicos. A análise da literatura também revela a importância da validação técnica do HPI via monitoramento contínuo não invasivo. A capacidade de obter resultados preditivos comparáveis a partir de dispositivos não invasivos resolve uma barreira logística de implementação, permitindo a expansão do uso do sistema para pacientes de menor risco que não necessitam de monitoramento arterial invasivo, o que, por sua vez, aumenta a segurança em uma população mais ampla.

4.2 Otimização Farmacológica

A otimização farmacológica representa o segundo pilar de avanço da IA na anestesiologia. Os sistemas tradicionais de Infusão Alvo-Controlada (TCI) baseiam-se em farmacocinética populacional, falhando em considerar a alta variabilidade metabólica dos pacientes. Em contrapartida, os sistemas closed-loop aprimorados por ML utilizam o feedback de efeito em tempo real, como o índice bispectral (BIS), para o ajuste individualizado da infusão.

Os resultados de estudos recentes indicam que esses sistemas inteligentes alcançam não apenas maior estabilidade na profundidade anestésica, mas também maior eficiência e segurança. A demonstração de que o sistema closed-loop pode otimizar o consumo de agentes anestésicos, como o Propofol, mesmo em contextos de farmacologia complexa (coadministração de esquetamina que altera o baseline do BIS), sublinha a sua superioridade em relação aos métodos manuais ou modelos puramente populacionais. A economia de agente anestésico, aliada à manutenção de desfechos de segurança (ausência de aumento de consciência intraoperatória), justifica a busca por essa maior precisão na titulação individualizada.

A fronteira tecnológica está se movendo rapidamente para além dos controladores proporcionais e integrais, explorando o Reinforcement Learning. Este tipo de algoritmo permite que o sistema aprenda e se adapte dinamicamente às condições do paciente durante a cirurgia, abrindo caminho para a gestão multi-modal da anestesia, onde a titulação de hipnose e analgesia é integrada. A capacidade de prever a recuperação pós-operatória e a necessidade de opioides com alta acurácia (AUROC) sugere que a próxima geração de IA impactará toda a jornada perioperatória do paciente.

4.3 Barreiras Não-Técnicas: Ética, Lei e Educação

Uma das principais conclusões da análise da literatura de 2023-2025 é que a performance técnica da Inteligência Artificial superou a capacidade das estruturas regulatórias e educacionais. Os principais obstáculos à adoção da IA na anestesiologia são de natureza não-técnica.

O ciclo vicioso do viés algorítmico, por exemplo, é um problema inerentemente ético que se torna uma falha de segurança clínica. Se os algoritmos são treinados em populações limitadas, eles falham em generalizar para grupos populacionais diversos, o que perpetua a iniquidade no cuidado. A comunidade científica reconhece que a generalização e a validação multicêntrica são a única forma de garantir a segurança para todos os pacientes.

O risco jurídico representa outro freio significativo. A ausência de consenso claro sobre a responsabilização civil em caso de falha do sistema semi-autônomo coloca o anestesiológista em uma posição de vulnerabilidade. É necessário que o marco legal avance para rastrear a responsabilidade entre o desenvolvedor e o clínico. Neste contexto, o julgamento clínico humano deve ser mantido como a última linha de defesa e a autoridade final. A IA, portanto, deve ser vista como uma ferramenta de apoio à decisão e não como um substituto do profissional.

5 CONCLUSÃO

A revisão narrativa da literatura (2023-2025) demonstra que a Inteligência Artificial, por meio de Machine Learning, está redefinindo o panorama da segurança do paciente em anestesiologia, promovendo uma transição do manejo reativo para o proativo. Os sistemas preditivos de Hipotensão Intraoperatória, notadamente o HPI, comprovam a capacidade de reduzir o insulto fisiológico, mensurado pela diminuição do TWA, enquanto os sistemas closed-loop

melhoram a precisão farmacológica e a eficiência no consumo de agentes anestésicos.

Contudo, a adoção em larga escala destas tecnologias enfrenta barreiras que são predominantemente de natureza não-técnica. O risco persistente de viés algorítmico, a ausência de um marco regulatório claro para a responsabilização civil e as lacunas na validação multicêntrica representam desafios que exigem governança urgente. A superação destas limitações passa pela implementação de programas de educação continuada e pelo estabelecimento de diretrizes legais que reforcem a transparência dos algoritmos e a supervisão humana como elementos inegociáveis. A segurança e a equidade do cuidado dependem da harmonização entre o avanço tecnológico e a evolução dos quadros éticos e educacionais.

REFERÊNCIAS

- AGUDA, Oluwakemi E. et al. Development of AI Model For Precision Anaesthesia Dosage Optimization. **Preprints**, Basel, 3 fev. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.20944/preprints202502.0065.v1>. Acesso em: 27 out. 2025.
- CHANG, Y. et al. Intraoperative hypotension and postoperative pneumonia in patients after selective intracranial tumor resection: a retrospective cohort study. **PeerJ**, [s.l.], v. 13, e19514, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.19514>. Acesso em: 23 out. 2025.
- DHAR, S. et al. Artificial Intelligence–Driven Anaesthesia and Pain Management in Eras Protocols: A Systematic Review of Contemporary Clinical Evidence. **Journal of Contemporary Clinical Practice**, [s.l.], v. 11, n. 8, p. 459–471, ago. 2025. Disponível em: <https://jccpractice.com/article/artificial-intelligence-driven-anaesthesia-and-pain-management-in-eras-protocols-a-systematic-review-of-contemporary-clinical-evidence-1174/>. Acesso em: 23 out. 2025.
- EVAN, T.; ÖZÇINAR, H.; ÇOPUR, İ.; BİLGİLİ, B. Bibliometric Analysis of Research Trends and Global Collaborations in Anesthesia on Neuromuscular Blockers and Antagonists (2000-2024). **Healthcare (Basel, Switzerland), Basel**, v. 13, n. 10, p. 1146, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/healthcare13101146>. Acesso em: 25 out. 2025.
- FELIPPE, V. A. et al. Effectiveness of the hypotension prediction index in non-cardiac surgeries: a systematic review, meta-analysis and trial sequential analysis. **Brazilian Journal of Anesthesiology** (Elsevier), [s.l.], v. 75, n. 5, 844649, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2025.844649>. Acesso em: 23 out. 2025.
- GAIK, C. et al. Current practices in hemodynamic monitoring and management during non-cardiac surgery in Austria. **BMC Anesthesiology**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 450, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12871-025-03374-7>. Acesso em: 23 out. 2025.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2010. 184 p. ISBN 9788522458233 (broch.)
- GIRI, R.; FIRDHOS, S. H.; VIDA, T. A. Artificial Intelligence in Anesthesia: Enhancing Precision, Safety, and Global Access Through Data-Driven Systems.

Journal of Clinical Medicine, Basel, v. 14, n. 19, p. 6900, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jcm14196900>. Acesso em: 26 out. 2025.

GIRI, Rakshita; FIRDHOS, Shaik Huma; VIDA, Thomas A. Artificial Intelligence in Anesthesia: Enhancing Precision, Safety, and Global Access Through Data-Driven Systems. **Journal of Clinical Medicine**, Basel, v. 14, n. 19, p. 6900, 29 set. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jcm14196900>. Acesso em: 27 out. 2025.

GOUTHAMCHAND, V. **From heterogeneity to harmony: F.A.I.R. integration for federated big data analyses in oncology**. 2025. Tese (Doutorado) – Maastricht University, Maastricht, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.26481/dis.20251015vg>. Acesso em: 26 out. 2025.

GUERRA-LONDONO, C. E. et al. Hypotension prediction index smart alerts and trends to improve compliance with goal-directed hemodynamic therapy: a feasibility study. **BMC Anesthesiology**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 471, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12871-025-03336-z>. Acesso em: 24 out. 2025.

HUA, C. et al. Predictive effect of postoperative recovery in general anesthesia patients using interpretable models based on swarm intelligence machine learning. **Frontiers in Physiology**, [s.l.], v. 16, e1565548, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1565548>. Acesso em: 24 out. 2025.

HUREAU, T. et al. Artificial Intelligence-Driven Anaesthesia and Pain Management in ERAS Protocols: A Systematic Review of Contemporary Clinical Evidence. **Journal of Clinical Care Practice**, v. 2, n. 1, p. 1174, 2024. Disponível em: <https://jccpractice.com/article/artificial-intelligence-driven-anaesthesia-and-pain-management-in-eras-protocols-a-systematic-review-of-contemporary-clinical-evidence-1174/>. Acesso em: 27 out. 2025.

KAMBALE, M.; JADHAV, S. Applications of artificial intelligence in anesthesia: A systematic review. Saudi **Journal of Anaesthesia**, [s.l.], v. 18, n. 2, p. 249–256, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.4103/sja.sja_955_23. Acesso em: 26 out. 2025.

KAMEL, Y.; SASA, N.; NAGUIB, M.; YASSEN, K. A.; SAYED, E. Bispectral Index Guidance Reduced Target Plasma Propofol Concentration During ERCP in Patients with Liver Cirrhosis. **Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation**, [s.l.], v. 52, n. 5, p. 169–179, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.4274/TJAR.2024.241635>. Acesso em: 22 out. 2025.

KLINGELFUS, Alexsandro et al. Inteligência Artificial na Anestesiologia: transformando o monitoramento e a tomada de decisões no perioperatório. **Journal of Social Issues and Health Sciences**, Teresina, v. 2, n. 2, p. 1-12, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14858592>. Acesso em: 27 out. 2025.

LAI, C. Y. et al. Effect of Hypotension Prediction Index (HPI) on outcomes in high-risk non-cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **British Journal of Anaesthesia**, v. 133, n. 2, p. 264-276, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12271063/>. Acesso em: 27 out. 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 4. ed., rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2001. 288 p. ISBN 8522427763 (broch.).

LE, Lisa; ELVIR-LAZO, Ofelia Loani; WONG, Robert. A scoping review of artificial intelligence in perioperative anesthesia: current applications, challenges, and roadmap for the future. **Journal of Surgery and Research**, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 507-511, out. 2025. Disponível em: DOI:10.26502/jsr.10020477. Acesso em: 26 out. 2025.

LI, X. et al. Feasibility of Closed-Loop TCI Based on New EEG Baseline in the Presence of Low Dose of Esketamine: A Randomized Controlled Equivalence Trial. **Drug Design, Development and Therapy**, [s.l.], v. 19, p. 3237-3252, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.2147/DDDT.S508264>. Acesso em: 22 out. 2025.

LOURENÇO, Matheus Gouveia. Implicações éticas e legais da inteligência artificial em anestesiologia. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 18, n. 10, p. 01-16, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/396846100_Implicacoes_eticas_e_legais_da_inteligencia_artificial_em_anestesiologia. Acesso em: 27 out. 2025.

LOURENÇO, Matheus Gouveia. Implicações éticas e legais da inteligência artificial em anestesiologia. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 18, n. 10, p. 01-16, 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.10-169. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/396846100_Implicacoes_eticas_e_legais_da_inteligencia_artificial_em_anestesiologia. Acesso em: 27 out. 2025.

MAIRINK, Carlos Henrique Passos. **Descomplicando o Projeto de Pesquisa**. [recurso eletrônico] / Carlos Henrique Passos Mairink - Belo Horizonte, MG: CaMaiK, 2018. Disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/1pl4pSqtJKHOsyouHSPecMHLGyx8I8HFv/view>. Acesso em: 27 out. 2025.

MAIRINK, Carlos Henrique Passos. HAMANAKA, Raíssa Yuri. SOARES, Filipi Miranda. **Manual para normalização de artigos científicos**: atualizado de acordo com as NBR 6022/2018 e NBR 6023/2018. 2. ed. rev. e atual. - Belo Horizonte: CaMaik, 2020. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1srJgrueAd1JY4uWTynQsZwGOFTdFoIEn/view>. Acesso em: 27 out. 2025.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados. São Paulo: Atlas, 1982.

MATTOS, Sergio L. do L. **Avaliação da incidência de Hipotensão Intraoperatória em Cistectomia**. 2025. Dissertação (Mestrado em Ciências Médicas) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://www.bdt.d.uerj.br:8443/bitstream/1/24368/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20S%C3%A9rgio%20Luiz%20do%20Logar%20Mattos%20-%202025%20-%20Completa.pdf>. Acesso em: 27 out. 2025.

MEIJER, G. A scoping review of artificial intelligence in perioperative anesthesia: current application and future challenges. **Fortune Journals**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2025. Disponível em: <https://cdn.fortunejournals.com/articles/a-scoping-review-of-artificial-intelligence-in-perioperative-anesthesia-current-applic-6341.pdf>. Acesso em: 27 out. 2025.

MUKKAMALA, R.; SCHNETZ, M. P.; KHANNA, A. K.; MAHAJAN, A. Intraoperative Hypotension Prediction: Current Methods, Controversies, and Research Outlook. **Anesthesia and Analgesia**, [s.l.], v. 141, n. 1, p. 61–73, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000007216>. Acesso em: 22 out. 2025.

PAULA, Pedro Angelo Basei de et al. Improving documentation quality and patient interaction with AI: a tool for transforming medical records—an experience report. **Journal of Medical Artificial Intelligence**, [s.l.], v. 8, set. 2025. Disponível em: <https://jmai.amegroups.org/article/view/9651>. Acesso em: 26 out. 2025.

SARHADI, K. et al. Hypotension prediction index: comparison between invasive and non-invasive pressure inputs. **BMC Anesthesiology**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 221, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12871-025-03086-y>. Acesso em: 24 out. 2025.

SAUGEL, Bernd et al. PeriOperative Quality Initiative (POQI) international consensus statement on perioperative arterial pressure management. *British Journal of Anaesthesia*, Oxford, v. 133, n. 2, p. 264-276, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11282474/>. Acesso em: 27 out. 2025.

SCHMIDT, F. et al. Predictive performance of hypotension prediction index (HPI) derived from non-invasive continuous arterial pressure monitoring: a prospective observational study. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, v. 39, p. 55-63, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12038980/>. Acesso em: 27 out. 2025.

ZHANG, K. et al. Interpretable Swarm Intelligence Machine Learning for Predicting Postoperative Recovery: A Multi-Center Study. **Journal of Digital Medicine**, v. 8, n. 4, p. 450-465, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12426152/>. Acesso em: 27 out. 2025.