Revista Eletrônica
Acervo Saúde
Electronic Journal Collection Health ISSN 2178-2091

Evolução do cateterismo cardíaco: revisão histórica e aplicações na cardiologia contemporânea

Evolution of cardiac catheterization: historical review and applications in contemporary cardiology

Evolución del cateterismo cardíaco: revisión histórica y aplicaciones en la cardiología contemporánea

Tayrel dos Anjos Silva[1], Adriano de Aquino da Luz[2], Ester Vinhote de Souza[3], Márcio Jadson Marialva Eliziário[2], Luana Monteiro de Mesquita[3], Ingrid Loureiro de Queiroz Lima[3], Denise Machado Duran Gutierrez [1], Silvania da Conceição Furtado[1].

RESUMO

Objetivo: Analisar a evolução do cateterismo cardíaco e suas principais aplicações na cardiologia contemporânea, com ênfase nos avanços diagnósticos, terapêuticos e tecnológicos da cardiologia intervencionista. **Revisão bibliográfica:** O cateterismo cardíaco teve início com experimentos pioneiros de cateterização intracardíaca, evoluindo progressivamente com o desenvolvimento de técnicas angiográficas, da coronariografia seletiva e da angioplastia coronariana. Ao longo das décadas, a incorporação de stents, métodos de imagem intracoronária e avaliação fisiológica das estenoses coronarianas ampliou sua aplicabilidade clínica e aprimorou sua aplicação clínica em diferentes contextos assistenciais. Mais recentemente, novas tecnologias, como inteligência artificial, robótica, litotripsia intravascular e balões farmacológicos, têm contribuído para maior precisão diagnóstica, melhor planejamento terapêutico e ampliação das possibilidades de intervenção. Esse processo transformou o cateterismo cardíaco de um método predominantemente diagnóstico em uma abordagem progressivamente mais integrada, com aplicações diagnósticas e terapêuticas cada vez mais precisas. **Considerações finais:** O cateterismo cardíaco consolidou-se como ferramenta central na prática cardiovascular contemporânea, com perspectivas de expansão sustentadas pela incorporação de tecnologias que ampliam sua segurança, precisão e integração clínica.

Palavras-chave: Cateterismo cardíaco, Angiografia coronária, Cardiologia intervencionista.

ABSTRACT

Objective: To analyze the evolution of cardiac catheterization and its main applications in contemporary cardiology, with emphasis on diagnostic, therapeutic, and technological advances in interventional cardiology. **Literature review:** Cardiac catheterization originated from pioneering intracardiac catheterization experiments and progressively evolved with the development of angiographic techniques, selective coronary angiography, and coronary angioplasty. Over the decades, the incorporation of stents, intracoronary imaging, and physiological assessment of coronary stenoses has expanded its clinical applicability and refined its use in different care settings. More recently, emerging technologies such as artificial intelligence, robotics,

[1] Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus – AM.
[2] Universidade Nilton Lins (UNL), Manaus – AM.
[3] Fundação Hospital do Coração Francisca Mendes (FHCFM), Manaus – AM.

SUBMETIDO EM: 4/2026 | **ACEITO EM: 5/2026** | **PUBLICADO EM: 7/2026**

intravascular lithotripsy, and drug-coated balloons have contributed to greater diagnostic precision, improved therapeutic planning, and broader interventional possibilities. This process has transformed cardiac catheterization from a predominantly diagnostic method into a progressively more integrated approach, with increasingly precise diagnostic and therapeutic applications. **Final considerations:** Cardiac catheterization has become a central tool in contemporary cardiovascular practice, with future perspectives supported by the incorporation of technologies that enhance its safety, precision, and clinical integration.

Keywords: Cardiac catheterization, Coronary angiography, Interventional cardiology.

RESUMEN

Objetivo: Analizar la evolución del cateterismo cardíaco y sus principales aplicaciones en la cardiología contemporánea, con énfasis en los avances diagnósticos, terapéuticos y tecnológicos de la cardiología intervencionista. **Revisión bibliográfica:** El cateterismo cardíaco tuvo su origen en experimentos pioneros de cateterización intracardíaca y evolucionó progresivamente con el desarrollo de técnicas angiográficas, la coronariografía selectiva y la angioplastia coronaria. A lo largo de las décadas, la incorporación de stents, métodos de imagen intracoronaria y evaluación fisiológica de las estenosis coronarias amplió su aplicabilidad clínica y refinó su utilización en diferentes contextos asistenciales. Más recientemente, nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, la robótica, la litotricia intravascular y los balones farmacoactivos han contribuido a una mayor precisión diagnóstica, a una mejor planificación terapéutica y a la ampliación de las posibilidades de intervención. Este proceso ha transformado el cateterismo cardíaco de un método predominantemente diagnóstico en un abordaje progresivamente más integrado, con aplicaciones diagnósticas y terapéuticas cada vez más precisas. **Consideraciones finales:** El cateterismo cardíaco se ha consolidado como una herramienta central en la práctica cardiovascular contemporánea, con perspectivas de expansión sustentadas por la incorporación de tecnologías que amplían su seguridad, precisión e integración clínica.

Palabras clave: Cateterismo cardíaco, Angiografía coronaria, Cardiología intervencionista.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o cateterismo cardíaco deixou de se restringir à caracterização anatômica isolada da doença coronariana e passou a ocupar papel mais abrangente na cardiologia intervencionista (LAWTON JS, et al., 2022). Inserido em um cenário de contínuos avanços técnicos e conceituais, o método passou a incorporar definição angiográfica, avaliação funcional das lesões e diferentes possibilidades de tratamento percutâneo, contribuindo para maior precisão na tomada de decisão clínica (BENNETT J, et al., 2024).

Essa transformação não resulta apenas do aprimoramento de dispositivos e técnicas, mas também de mudanças na própria compreensão da doença arterial coronariana. Na prática contemporânea, a interpretação das lesões passou a incorporar, de forma complementar, aspectos anatômicos, fisiológicos e estruturais, ampliando as possibilidades diagnósticas e terapêuticas (LAWTON JS, et al., 2022). Paralelamente, consensos recentes reforçam que a atuação no laboratório de cateterismo deve estar alinhada a uma prática segura, estruturada e baseada em evidências, com ênfase na qualidade assistencial e no cuidado centrado no paciente (NAIDU SS, et al., 2021).

Diante desse cenário, a coronariografia invasiva e as intervenções percutâneas a ela associadas seguem relevantes na cardiologia contemporânea, mesmo diante da expansão dos métodos não invasivos de imagem. Embora a angiotomografia coronariana tenha ganhado espaço na investigação inicial da doença arterial coronariana, a coronariografia invasiva continua sendo o principal método invasivo para identificar e caracterizar estenoses coronarianas (BERTOLONE DT, et al., 2022).

Nesse mesmo contexto, a reserva fracionada de fluxo (FFR), obtida durante a angiografia invasiva, é descrita como padrão-ouro para avaliar a repercussão funcional das lesões (YI D, et al., 2025). Assim, parâmetros fisiológicos têm papel relevante na definição da estratégia de revascularização (LAWTON JS, et al., 2022). De forma complementar, métodos de imagem intracoronária contribuem para a avaliação anatômica detalhada das lesões e para o planejamento da intervenção coronária percutânea (BERTOLONE DT, et al., 2022).

Segundo Sousa EMJS e Silva ALM (2025), a relação entre história e memória é fundamental para compreender como o passado é interpretado, narrado e incorporado à construção de identidades. Nessa perspectiva, ambas não devem ser entendidas como registros neutros ou estáticos, mas como construções atravessadas pelo presente, por intencionalidades e por diferentes disputas de sentido. Sob esse olhar, revisitar a trajetória do cateterismo cardíaco não significa apenas retomar marcos técnicos, mas analisar os processos que explicam sua consolidação, suas transformações e seu papel na cardiologia contemporânea. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar a evolução desse procedimento e suas principais aplicações na cardiologia contemporânea, com ênfase nos avanços diagnósticos, terapêuticos e tecnológicos da cardiologia intervencionista.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O autoexperimento realizado por Werner Theodor Otto Forssmann em 1929 constituiu um marco inicial na história do cateterismo cardíaco. Nascido em Berlim em 29 de agosto de 1904, Forssmann recebeu formação clínica em cirurgia em 1929 e, ainda como jovem médico, introduziu em si mesmo um cateter uretral até o coração, com documentação radiográfica do trajeto, cujo relato foi publicado no mesmo ano (NICHOLLS M, 2020; PACKY LM e GROSS D, 2019). A partir desse feito, passou-se a admitir a possibilidade de introdução direta de cateteres no coração para administração de medicamentos, injeção de contraste e medição da pressão arterial (NICHOLLS M, 2020).

O reconhecimento mais amplo da importância desse percurso ocorreu apenas em 1956, com a concessão do Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina a Werner Forssmann, André Frédéric Cournand e Dickinson W. Richards. Antes disso, porém, o experimento de Forssmann havia sido recebido de forma desfavorável, com críticas e oposição que repercutiram negativamente em sua trajetória profissional. Somente no início da década de 1940 a técnica passou a ser desenvolvida de forma mais sistemática por Cournand e Richards, em estreita colaboração na Columbia University e no Bellevue Hospital, em Nova York, com reconhecimento da relevância da contribuição inicial de Forssmann (NICHOLLS M, 2020).

Em 1938, Robb e Steinberg descreveram, nos Estados Unidos, um método de visualização das câmaras cardíacas, da circulação pulmonar e dos grandes vasos, em um contexto em que ainda não havia forma prática de demonstrar o interior do coração e dos vasos intratorácicos. A técnica fundamentava-se na injeção intravenosa rápida de solução radiopaca de diodrast a 70%, seguida da obtenção de imagens radiográficas no momento da opacificação. Desse modo, o interior do coração e dos vasos torácicos tornava-se opaco aos raios X, permitindo caracterização morfológica mais precisa das estruturas cardiovasculares, inclusive quanto ao tamanho, à forma e às suas relações anatômicas (ROBB GP e STEINBERG I, 1940).

A utilidade clínica do cateterismo das cavidades direitas ganhou maior definição com a descrição publicada por Cournand em 1941. O autor apresentou a técnica de cateterização do átrio direito em humanos e destacou sua aplicação tanto na obtenção de sangue venoso misto para estudos respiratórios quanto na avaliação do débito cardíaco. Em sua experiência, não foram observadas alterações significativas do pulso, do débito cardíaco ou das medidas ventilatórias analisadas, o que reforçava a viabilidade do procedimento em ambiente clínico quando executado de forma adequada (COURNAND A e RANGES HA, 1941).

A cateterização das câmaras esquerdas do coração passou a ser explorada por Zimmerman e colaboradores em 1950, por meio da artéria ulnar esquerda. Os autores descreveram a progressão do cateter até a raiz da aorta e relataram que a passagem para o ventrículo esquerdo encontrava dificuldade nos indivíduos sem insuficiência aórtica importante, uma vez que a ponta do cateter tendia a desviar-se para o seio de Valsalva. Por outro lado, em pacientes com insuficiência aórtica significativa, especialmente de etiologia sifilítica, essa progressão mostrou-se mais factível. O estudo também registrou intercorrências arrítmicas durante o procedimento, evidenciando os desafios técnicos e os riscos dessa abordagem inicial (ZIMMERMAN HA, et al., 1950).

Alguns anos depois, Sven Ivar Seldinger descreveu uma técnica que permitia a introdução percutânea de um cateter em artéria, após a retirada da agulha de punção, com uso de tubo de polietileno de parede fina e sob anestesia local. O método apresentava como principal vantagem a possibilidade de utilizar agulha de

menor calibre para um cateter de mesmo tamanho, o que o tornava mais favorável do que as técnicas anteriores, marcadas pelo emprego de agulhas mais calibrosas e por maior dificuldade de punção, especialmente em artérias menores. Além disso, a técnica mostrou-se simples após curto treinamento e proporcionou bons resultados na maioria dos exames realizados (SELDINGER SI, 1953).

Com a incorporação da amplificação da imagem fluoroscópica, tornou-se possível associar a manipulação intracardíaca do cateter a uma forma mais precisa de visualização contrastada da circulação central. Descrita por Sones como cinecardioangiografia seletiva, essa técnica passou a permitir o registro permanente, em alta velocidade, da passagem do contraste, com possibilidade de análise posterior em câmera lenta ou por meio de imagens isoladas (SONES FM JR, 1958).

À medida que os recursos diagnósticos se consolidavam, começaram a surgir também propostas terapêuticas por via percutânea. Nesse contexto, Dotter e Judkins descreveram, em 1964, uma técnica de tratamento transluminal de obstruções arterioscleróticas em artérias das pernas, apresentada como método simples, seguro e eficaz, ainda em caráter preliminar, mas já com resultados iniciais encorajadores (DOTTER CT e JUDKINS MP, 1964).

Melvin P. Judkins descreveu, em 1967, uma técnica percutânea por via femoral para arteriografia coronária seletiva, com uso de cateteres pré-moldados que proporcionavam maior controle do material e permitiam cateterização rápida e consistente de ambas as artérias coronárias, com pouca manipulação. A técnica também reunia outras vantagens, como a rapidez de execução, a baixa taxa de complicações da cateterização femoral percutânea e a possibilidade de obtenção de imagens por radiografia seriada direta e cinefotofluorografia. Dessa forma, passou a oferecer detalhamento mais preciso da anatomia coronariana sem necessidade de dissecção cirúrgica da artéria braquial (JUDKINS MP, 1967).

Na década de 1970, a angioplastia coronariana transluminal percutânea passou a ser descrita como uma técnica em que a insuflação do balão promovia compressão do material aterosclerótico contra a parede do vaso, com consequente dilatação do lúmen. No relato inicial publicado por Grüntzig, o método foi aplicado em pacientes com lesões coronarianas estenóticas graves associadas à angina refratária, configurando uma nova possibilidade terapêutica nesse cenário (GRÜNTZIG A, 1978).

A realização do cateterismo cardíaco em regime ambulatorial passou a ser progressivamente respaldada por estudos conduzidos em diferentes cenários. Nos Estados Unidos, Mahrer e Eshoo avaliaram o procedimento em pacientes selecionados e demonstraram que sua execução em regime ambulatorial apresentava segurança comparável à observada em pacientes internados, além de associar-se à redução expressiva de custos (MAHRER PR e ESHOO N, 1981). Achados semelhantes foram descritos em centros britânicos: em uma série de pacientes submetidos ao cateterismo cardíaco esquerdo pela técnica de Judkins modificada, 94,4% receberam alta no mesmo dia, com baixa incidência de complicações e mortalidade reduzida, reforçando a viabilidade dessa abordagem em pacientes selecionados (OLDROYD KG, et al., 1989).

Em razão da elevada frequência de lesões assimétricas, a quantificação das estenoses coronarianas passou a exigir, sempre que possível, avaliação em múltiplas projeções, já que a imagem obtida em uma única incidência pressupunha uma secção transversal circular, nem sempre compatível com a morfologia real da lesão. Os autores também ressaltaram que nem mesmo modelos elípticos descreviam com precisão lesões excêntricas, especialmente após a angioplastia, quando alterações assimétricas do lúmen se tornavam mais evidentes (SERRUYS PW, et al., 1984).

A introdução dos stents intravasculares representou outro passo importante nesse percurso, ao oferecer suporte mecânico ao segmento arterial tratado com a finalidade de reduzir oclusão aguda e reestenose após a angioplastia transluminal. No relato de Sigwart e colaboradores, essas endopróteses passaram a ser implantadas por via não cirúrgica em artérias coronárias e periféricas, em associação com terapêutica antitrombótica e antiplaquetária, marcando uma nova etapa na ampliação da capacidade de intervenção percutânea e no enfrentamento de limitações da angioplastia isolada (SIGWART U, et al., 1987). A ultrassonografia intravascular percutânea passou a representar uma nova ferramenta na cardiologia intervencionista, ao permitir avaliação mais detalhada da estrutura da parede arterial e de suas alterações

patológicas. A técnica possibilitava a obtenção de imagens em tempo real, com melhor focalização ao longo do eixo radial, enquanto um marcador radiopaco na ponta distal auxiliava na localização precisa durante a fluoroscopia. O método também mostrou boa correlação com as secções histológicas, ampliando a precisão da avaliação anatômica coronariana e o entendimento das lesões para além das limitações da angiografia convencional (HODGSON JMB, et al., 1989).

Nos anos 2000, com o objetivo de reduzir as taxas de reestenose observadas com o uso de stents convencionais, foram desenvolvidos os stents eluidores de drogas antiproliferativas, direcionados à limitação da proliferação neointimal. Esses dispositivos passaram a representar uma alternativa para diminuir a reestenose e a necessidade de novos procedimentos de revascularização, embora sem demonstração de redução da mortalidade global ou da incidência de infarto do miocárdio, reforçando a busca por maior eficácia do tratamento percutâneo especialmente quanto à redução de novas intervenções (NORDMANN AJ, et al., 2006).

Em 2021, a American Heart Association (AHA) publicou recomendações para a prática no laboratório de cateterismo, destacando o acesso radial como via preferencial e o uso da ultrassonografia para guiar o acesso femoral, especialmente com técnica de micropunção, em razão do maior risco de sangramento e de complicações associados ao acesso transfemoral. O documento também ressaltou a necessidade de individualizar a estratégia procedimental e o manejo medicamentoso conforme as características clínicas do paciente, com atenção à função renal e ao perfil terapêutico em uso, consolidando uma prática mais padronizada e orientada à segurança no contexto da cardiologia intervencionista contemporânea (BANGALORE S, et al., 2021).

Na prática contemporânea, o cateterismo cardíaco passou a incorporar métodos fisiológicos e de imagem intracoronária, além da definição anatômica das estenoses. Esses recursos auxiliam na identificação de lesões com repercussão isquêmica e na orientação da revascularização. Nesse contexto, a FFR, a razão instantânea livre de ondas (iFR) e métodos de imagem intracoronária, como a ultrassonografia intravascular (IVUS) e a tomografia de coerência óptica (OCT), reforçam uma abordagem mais integrada, individualizada e orientada à tomada de decisão terapêutica. De forma complementar, a angiotomografia coronariana contribui para a avaliação anatômica não invasiva no manejo da doença arterial coronariana estável (BERTOLONE DT, et al., 2022).

Atualmente, os principais desafios da angioplastia coronariana ainda envolvem trombose e reestenose do stent, especialmente em pacientes diabéticos. Por isso, o desenvolvimento tecnológico tem priorizado stents ultrafinos, com menor quantidade de metal, melhor entregabilidade, menor necessidade de terapia antiplaquetária dupla e maior preservação da parede vascular. Assim, a evolução dos dispositivos busca responder a problemas persistentes, como dificuldade de entrega, acesso a ramos laterais, trombose tardia, reestenose e neoaterosclerose local (ALMEIDA MS, 2023). Elementos biodegradáveis e scaffolds absorvíveis vêm sendo explorados como alternativas na evolução dos stents, com potencial para reduzir a permanência de material estranho no vaso e favorecer a recuperação vascular. Contudo, sua consolidação clínica ainda depende da superação de limitações mecânicas, biológicas e de degradação, incluindo espessura das hastes, força radial, expansão do dispositivo e risco de trombose (SONG Y, et al., 2024).

A angiografia coronariana deixou de se restringir à definição anatômica do lúmen e passou a incorporar a avaliação funcional das estenoses, com integração entre dados angiográficos, índices fisiológicos e métodos voltados à análise da microcirculação, ampliando a capacidade de identificar lesões com repercussão hemodinâmica e de orientar com maior precisão a decisão terapêutica. Esse avanço traduz uma mudança relevante na prática clínica, pois reduz a dependência da estimativa visual isolada e favorece decisões baseadas na combinação entre anatomia coronariana, fisiologia da lesão, microcirculação e contexto clínico individual (BENNETT J, et al., 2024). Na fase mais recente dessa evolução, a imagem intravascular, especialmente com a ultrassonografia intravascular (IVUS) e a tomografia de coerência óptica (OCT), consolidou-se como ferramenta relevante na cardiologia intervencionista, ao permitir melhor caracterização da placa e otimização da intervenção coronária percutânea, ampliando a precisão do planejamento e do implante de stents para além das limitações da angiografia convencional. Com isso, a intervenção passa a

ser progressivamente guiada por informações mais detalhadas sobre morfologia da placa, dimensões vasculares, aposição e expansão do stent, favorecendo maior previsibilidade técnica e melhor identificação de fatores relacionados a complicações do procedimento (NAFEE T, et al., 2023).

Essa mudança é reforçada por atualizações recentes sobre imagem intracoronária, que destacam o papel dessas modalidades na obtenção de informações além do angiograma e na melhora dos resultados da intervenção coronária percutânea, especialmente pela otimização do implante e pela redução de eventos relacionados ao stent, como reestenose, falha da lesão-alvo e trombose (WAXMAN S, et al., 2025). Além disso, a incorporação da inteligência artificial e de modelos computacionais à angiografia funcional aponta para uma etapa de maior individualização das intervenções em cardiologia, com reconstrução tridimensional da anatomia coronariana, estimativa automatizada de índices funcionais e apoio à tomada de decisão em lesões funcionalmente significativas (BENNETT J, et al., 2024).

Nesse contexto, a inteligência artificial (IA) vem sendo progressivamente explorada na cardiologia intervencionista, desde a estratificação de risco e o planejamento periprocedimental até o apoio à tomada de decisão, com potencial para integrar dados clínicos e diferentes modalidades de imagem. Mais do que automatizar tarefas, esse avanço aponta para uma prática mais integrada, em que recursos virtuais, ferramentas de navegação, sistemas de apoio decisório e aplicações robóticas podem contribuir para procedimentos mais individualizados e organizados na rotina assistencial (RUDNICKA Z, et al., 2024). Além disso, a IA tem ampliado a interpretação automatizada de exames, a caracterização de lesões coronárias e a avaliação anatômica e funcional das estenoses, reforçando a transição de uma análise predominantemente visual para uma abordagem baseada na integração entre imagem, fisiologia coronariana e processamento computacional (SUBHAN S, et al., 2023).

A IA também desponta como ferramenta promissora para estimar a repercussão funcional de lesões coronárias a partir da angiografia coronária e de outras modalidades de imagem, buscando avaliações mais rápidas, menos invasivas e mais próximas da rotina do laboratório de hemodinâmica. Na prática clínica, pode auxiliar a identificação de lesões funcionalmente relevantes e o planejamento da intervenção, sobretudo quando a avaliação anatômica isolada é insuficiente. Entretanto, sua incorporação ampla ainda depende de validação robusta, maior generalização dos modelos e superação de limitações relacionadas à interpretabilidade, à qualidade dos dados e à integração ao fluxo assistencial (KAÇAR MN, et al., 2025). Assim, seu potencial deve ser compreendido como parte de uma mudança de paradigma ainda em consolidação, sem substituir, neste momento, os métodos fisiológicos invasivos nem o julgamento clínico do intervencionista (BIONDI-ZOCCAI G, et al., 2025).

Apesar dos avanços, persistem desafios relacionados à variabilidade dos modelos, à necessidade de grandes volumes de dados e à aplicabilidade limitada em cenários clínicos complexos. Assim, a personalização dos procedimentos depende não apenas dos algoritmos, mas da qualidade dos dados, da padronização das imagens, da validação em diferentes populações e da incorporação dessas ferramentas ao contexto real do procedimento (SUBHAN S, et al., 2023). Ainda assim, quando associadas à imagem intracoronária, à estimativa funcional e a outras tecnologias de suporte, essas ferramentas podem favorecer avaliações mais padronizadas, melhor seleção de estratégias, maior precisão técnica e potencial contribuição para a segurança e a eficiência, desde que atuem como apoio ao raciocínio clínico, e não como decisão autônoma (DASH D, et al., 2025).

Como desdobramento dessa evolução, a intervenção coronária assistida por robótica tem emergido como uma fronteira promissora, com potencial para reduzir a exposição ocupacional à radiação, favorecer melhores condições ergonômicas e ampliar, futuramente, o acesso a procedimentos especializados por meio de aplicações telerrobóticas. Mais do que inovação operacional, essa tecnologia sinaliza uma reorganização progressiva do ambiente intervencionista, com maior precisão na manipulação de dispositivos, embora ainda existam limitações relacionadas à complexidade anatômica, à compatibilidade com dispositivos adjuntos e à necessidade de conversão manual em alguns casos (GEORGE JC, et al., 2025). A literatura sobre intervenção coronária robótica reforça essa perspectiva ao destacar a redução da exposição do operador, o posicionamento mais preciso de stents e o potencial futuro da teleintervenção, ainda dependente da superação de limitações técnicas e operacionais (STEVENSON A, et al., 2022).

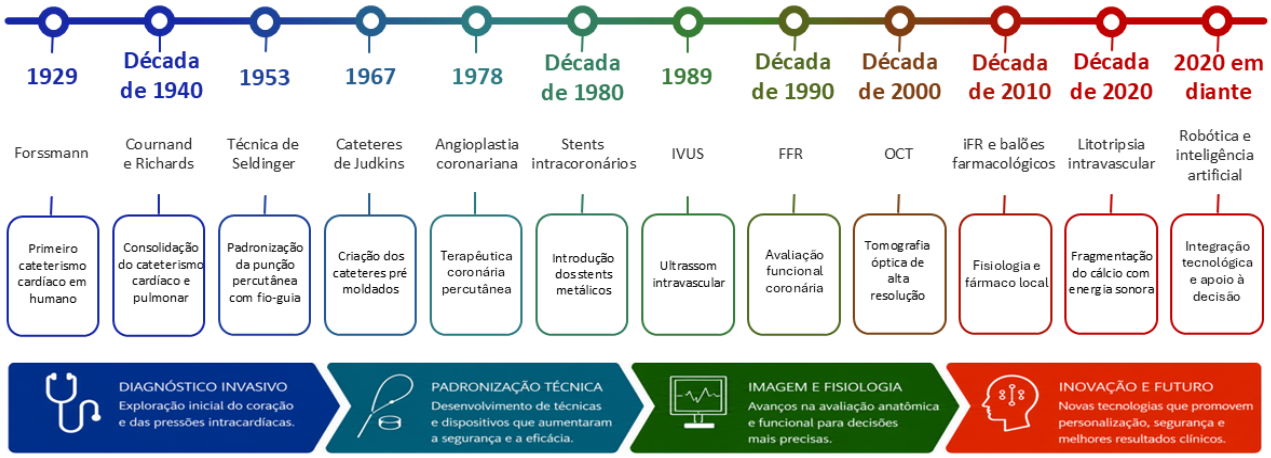
Entre as estratégias mais recentes, os balões farmacológicos ganharam espaço em cenários selecionados da intervenção coronária percutânea, por permitirem liberação local de fármacos antiproliferativos sem implante permanente de corpo estranho, com potencial para preservar a anatomia vascular, favorecer remodelamento positivo e reduzir a carga de stent. Essa possibilidade reforça a individualização da intervenção, especialmente em reestenose intrastent, pequenos vasos, lesões longas, bifurcações e situações em que a menor permanência de material metálico pode ser desejável (CAMAJ A, et al., 2025). De modo complementar, consensos recentes descrevem essa abordagem como aplicável a diferentes cenários da doença arterial coronariana, desde que haja preparo adequado da lesão e seleção criteriosa entre balão farmacológico e stent farmacológico conforme o resultado obtido (HER AY, et al., 2025).

Mais recentemente, a litotripsia intravascular coronária passou a integrar o arsenal terapêutico das lesões calcificadas, ao permitir a fratura do cálcio coronário e o aumento da complacência vascular, favorecendo a adequada expansão do stent. Assim, a litotripsia representa não apenas um novo recurso técnico, mas parte de uma abordagem mais planejada e com potencial para reduzir falhas relacionadas à subexpansão do stent em lesões fortemente calcificadas (GUPTA A, et al., 2024). Essa tecnologia insere-se nesse movimento ao ampliar as possibilidades de preparo de lesões calcificadas, especialmente quando a combinação entre angiografia e imagem intravascular identifica alta carga de cálcio e auxilia na escolha da estratégia de modificação da placa antes do implante do stent (NAFEE T, et al., 2023).

Para o futuro, a cardiologia intervencionista tende a avançar menos pela redefinição do cateterismo em si e mais pela incorporação de tecnologias capazes de torná-lo mais preciso, integrado e individualizado. Nesse cenário, destacam-se a imagem intracoronária de nova geração, o apoio da inteligência artificial à interpretação de imagens e à tomada de decisão, e a integração entre anatomia, fisiologia e modelagem computacional, ampliando a caracterização das lesões além da angiografia isolada (WAXMAN S, et al., 2025).

De forma complementar, a intervenção coronária percutânea de precisão reforça estratégias personalizadas nas fases pré, intra e pós-procedimento, incluindo seleção de dispositivos, avaliação fisiológica, suporte digital e adaptação ao perfil clínico e anatômico do paciente. Ainda assim, sua incorporação ampla depende de validação robusta, benefício clínico consistente, custo-efetividade e viabilidade nos diferentes cenários assistenciais (WILSON TM, et al., 2026). A sequência dos principais marcos da evolução do cateterismo cardíaco está apresentada na **Figura 1**.

Figura 1 - Principais marcos históricos e tecnológicos da evolução do cateterismo cardíaco.



Nota: Figura elaborada pelos autores, com apoio do ChatGPT®/OpenAI apenas na organização visual e composição gráfica, com diagramação realizada no Microsoft PowerPoint®. O conteúdo intelectual foi definido pelos autores com base na literatura revisada. Termos de uso disponíveis em OpenAI Terms of Use: https://openai.com/policies/row-terms-of-use/ e Microsoft Services Agreement: https://www.microsoft.com/en/servicesagreement, acesso em 6 maio 2026.
Fonte: Silva TA, et al., 2026.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução do cateterismo cardíaco revela mais do que a sucessão de marcos técnicos ao longo do tempo, expressando, sobretudo, a capacidade da cardiologia de transformar um procedimento inicialmente marcado por experimentação, risco e limitações diagnósticas em uma ferramenta central da prática contemporânea. Nesse percurso, cada avanço não apenas ampliou a possibilidade de ver, medir ou intervir, mas também redefiniu o próprio papel do cateterismo, que deixou de ser apenas um método diagnóstico para se tornar parte de uma abordagem cada vez mais precisa, segura e integrada. Assim, sua trajetória histórica expressa não só o desenvolvimento de uma técnica, mas a consolidação de uma nova forma de compreender e tratar a doença cardiovascular. Também evidencia o amadurecimento da própria cardiologia intervencionista, que passou a orientar suas escolhas não apenas pela possibilidade de realizar o procedimento, mas pela busca de maior segurança, melhor definição diagnóstica, maior precisão terapêutica e cuidado progressivamente mais individualizado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Cirurgia da Universidade Federal do Amazonas (PPGRACI/UFAM) pelo apoio institucional. Este manuscrito deriva parcialmente de dissertação de mestrado.

REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA MS. Estamos chegando ao fim do caminho evolutivo para stents metálicos farmacológicos? Quais stents de 4ª geração precisamos? Arquivos Brasileiros de Cardiologia, 2023; 120(6): e20230302.
2. BANGALORE S, et al. Evidence-based practices in the cardiac catheterization laboratory: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation, 2021; 144(5): e107-e119.
3. BENNETT J, et al. Contemporary functional coronary angiography: an update. Future Cardiology, 2024; 20(14): 755-778.
4. BERTOLONE DT, et al. Contemporary management of stable coronary artery disease. High Blood Pressure & Cardiovascular Prevention, 2022; 29(3): 207-219.
5. BIONDI-ZOCCAI G, et al. Artificial intelligence in cardiology: general perspectives and focus on interventional cardiology. The Anatolian Journal of Cardiology, 2025; 29(4): 152-163.
6. CAMAJ A, et al. Drug-coated balloons for the treatment of coronary artery disease: a review. *JAMA Cardiology*, 2025; 10(2): 189-198.
7. COURNAND A, RANGES HA. Catheterization of the right auricle in man. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine, 1941; 46: 462-466.
8. DASH D, et al. Artificial intelligence-driven techniques for interventional cardiology: a current appraisal. Cardiovascular Revascularization Medicine, 2025; 81: 154-163.
9. DOTTER CT, JUDKINS MP. Transluminal treatment of arteriosclerotic obstruction: description of a new technic and a preliminary report of its application. Circulation, 1964; 30(5): 654-670.
10. GEORGE JC, et al. Robot-assisted cardiovascular interventions. Journal of the Society for Cardiovascular Angiography & Interventions, 2025; 4: 102568.
11. GRÜNTZIG A. Transluminal dilatation of coronary-artery stenosis. Lancet, 1978; 1(8058): 263.
12. GUPTA A, et al. Coronary intravascular lithotripsy in contemporary practice: challenges and opportunities in coronary intervention. Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease, 2024; 18: 1-13.
13. HER AY, et al. Drug-coated balloons-based intervention for coronary artery disease: the second report of Asia-Pacific Consensus Group. JACC: Asia, 2025; 5(6): 701-717.
14. HODGSON JMB, et al. Clinical percutaneous imaging of coronary anatomy using an over-the-wire ultrasound catheter system. International Journal of Cardiac Imaging, 1989; 4: 187-193.
15. JUDKINS MP. Selective coronary arteriography. Part I: a percutaneous transfemoral technic. Radiology, 1967; 89(5): 815-824.

16. KAÇAR MN, et al. A review on the estimation of coronary fractional flow reserve using artificial intelligence. Turk Kardiyol Dern Ars, 2025; 53(4): 275-280.
17. LAWTON JS, et al. 2021 ACC/AHA/SCAI guideline for coronary artery revascularization: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. Journal of the American College of Cardiology, 2022; 79(2): e21-e129.
18. MAHRER PR, ESHOO N. Outpatient cardiac catheterization and coronary angiography. Catheterization and Cardiovascular Diagnosis, 1981; 7(4): 355-360.
19. NAFEE T, et al. State-of-art review: intravascular imaging in percutaneous coronary interventions. Cardiology Plus, 2023; 8(4): 227-246.
20. NAIDU SS, et al. SCAI expert consensus update on best practices in the cardiac catheterization laboratory. Catheterization and Cardiovascular Interventions, 2021; 98(2): 255-276.
21. NICHOLLS M. Werner Forssmann Nobel Prize for physiology or medicine 1956. European Heart Journal, 2020; 41(9): 980-981.
22. NORDMANN AJ, et al. Mortality in randomized controlled trials comparing drug-eluting vs. bare metal stents in coronary artery disease: a meta-analysis. European Heart Journal, 2006; 27(23): 2784-2814.
23. OLDROYD KG, et al. Cardiac catheterisation by the Judkins technique as an outpatient. BMJ, 1989; 298(6672): 875-876.
24. PACKY LM, GROSS D. Between cardiology and urology: Werner Forssmann's double career. Urologia Internationalis, 2019; 103(1): 1-7.
25. ROBB GP, STEINBERG I. Visualization of the chambers of the heart, the pulmonary circulation and the great blood vessels in man. JAMA, 1940; 114(1): 29-32.
26. RUDNICKA Z, et al. Advancements in artificial intelligence-driven techniques for interventional cardiology. Cardiology Journal, 2024; 31(2): 321-341.
27. SELDINGER SI. Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography: a new technique. Acta Radiologica, 1953; 39(5): 368-376.
28. SERRUYS PW, et al. Assessment of percutaneous transluminal coronary angioplasty by quantitative coronary angiography: diameter versus densitometric area measurements. American Journal of Cardiology, 1984; 54(4): 482-488.
29. SIGWART U, et al. Intravascular stents to prevent occlusion and restenosis after transluminal angioplasty. New England Journal of Medicine, 1987; 316(12): 701-706.
30. SONES FM JR. Cine-cardio-angiography. Circulation, 1958; 18(5): 946-979.
31. SONG Y, et al. Research progress of absorbable stents. International Journal of Medical Sciences, 2024; 21(2): 404-412.
32. SOUSA EMJS, SILVA ALM. História e memória: conceitos, perspectivas e contrapontos. Revista Aracê, 2025; 7(10): 1-28.
33. STEVENSON A, et al. Robotic-assisted PCI: the future of coronary intervention? Cardiovascular Revascularization Medicine, 2022; 35: 161-168.
34. SUBHAN S, et al. Role of artificial intelligence and machine learning in interventional cardiology. Current Problems in Cardiology, 2023; 48(7): 101698.
35. WAXMAN S, et al. Intravascular coronary imaging update: advances, clinical applications, and future directions. Current Cardiology Reports, 2025; 27: 111.
36. WILSON TM, et al. Precision percutaneous coronary intervention. npj Cardiovascular Health, 2026; 3: 10.
37. YI D, et al. Coronary computed tomography angiography-derived fractional flow reserve: a comprehensive review. Reviews in Cardiovascular Medicine, 2025; 26(9): 39717.
38. ZIMMERMAN HA, et al. Catheterization of the left side of the heart in man. Circulation, 1950; 1(3): 357-365.