Análise de Custo-Efetividade e Impacto Orçamentário da Angiotomografia de Artérias Coronárias do Sistema Único de Saúde Brasileiro

Cost-effectiveness and Budget Impact Analysis of Coronary CT Angiography in the Brazilian Unified Health System

Isabela Bispo Santos da Silva Costa,[1] Jorge A. Torreão,[2] Afonso Shiozaki,[3] Henrique Simão Trad,[4] Luana Emanuelly Sinhori Lopes,[5] Marcio S. Bittencourt,[6] Miguel Antônio Moretti,[7,8] Silvio Henrique Barberato,[9,10] Carlos E. Rochitte[11]

Instituto do Câncer do Estado de São Paulo – Universidade de São Paulo,[1] São Paulo, SP – Brasil
Hospital Cardio Pulmonar – IDOR - Instituto D'or de Pesquisa e Ensino,[2] Salvador, BA – Brasil
ND Núcleo Diagnóstico,[3] Maringá, PR – Brasil
Lotus Radiologia,[4] Ribeirão Preto, SP – Brasil
Universidade Estadual do Oeste do Paraná,[5] Cascavel, PR – Brasil
University of Pittsburgh,[6] Pittsburgh, Pennsylvania – EUA
Hospital das Clinicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HCFMUSP),[7] São Paulo, SP – Brasil
Faculdade de Medicina da Fundação do ABC,[8] Santo André, SP – Brasil
CardioEco Centro de Diagnóstico Cardiovascular,[9] Curitiba, PR – Brasil
Quanta Diagnóstico – Ecocardiografia,[10] Curitiba, PR – Brasil
Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo,[11] São Paulo, SP – Brasil

Resumo

Fundamento: A doença arterial coronariana (DAC) representa um grande ônus clínico e econômico para o sistema único de saúde (SUS). Embora a angiotomografia coronariana (AngioTc) tenha excelente acurácia diagnóstica, faltam análises de custo-efetividade (ACE) baseadas em dados nacionais.

Objetivo: Avaliar a custo-efetividade e o impacto orçamentário da incorporação da AngioTc como diagnóstico inicial para pacientes suspeita com DAC estável na perspectiva do SUS.

Métodos: Foram realizadas uma ACE e uma análise de impacto orçamentário (AIO), comparando a AngioTc com a angiografia coronariana invasiva (ACI) e com um painel de testes funcionais em pacientes com suspeita de DAC estável, assumindo um horizonte temporal de um ano para o ACE e cinco anos para o AIO. Os desfechos de efetividade incluíram a incidência de infarto agudo do miocárdio (IAM), taxas de revascularização e hospitalizações. Análises de sensibilidade determinísticas e probabilísticas foram realizadas.

Resultados: A AngioTc mostrou-se custo-efetiva, reduzindo os custos relacionados ao IAM (R$610,18 vs. R$867,80), revascularização (R$1378,14 vs. R$1833,84) e hospitalização (R$602,86 vs. R$932,79), resultando em uma economia de R$329,93 por paciente. Em comparação com os testes funcionais, a AngioTc também reduziu os custos com IAM (R$610,18 vs. R$658,36), revascularização (R$1378,14 vs. R$1659,18) e hospitalização (R$602,86 vs. R$628,16). A AIO projetou uma economia acumulada para o SUS entre R$34,1 milhões e R$73 milhões ao longo de 5anos, dependendo do comparador e do cenário de difusão.

Conclusões: Os resultados sugerem que a utilização da AngioTC como exame inicial em pacientes com risco baixo a moderado de DAC no SUS pode representar uma alternativa economicamente favorável, com potencial para gerar economia de recursos em comparação com as estratégias analisadas.

Palavras-chave: Tomografia Computadorizada por Raios X; Doença da Artéria Coronariana; Análise de Custo-Efetividade; Infarto do Miocárdio; Sistema Único de Saúde.

Abstract

Background: *Coronary artery disease (CAD) represents a major clinical and economic burden for the Brazilian Unified Health System (SUS). Although coronary computed tomography angiography (CCTA) has excellent diagnostic accuracy, cost-effectiveness analyses (CEA) based on national data are lacking.*

Correspondência: Isabela Bispo Santos da Silva Costa •
Instituto do Câncer do Estado de São Paulo - Universidade de São Paulo – Av. Dr. Arnaldo, 251. CEP 01246-000, São Paulo, SP- Brasil
E-mail: Isabela.bispo@hc.fm.usp.br
Artigo recebido em 23/10/2025, revisado em 04/06/2026, aceito em 10/07/2026
Editor responsável pela revisão: Gláucia Maria Moraes de Oliveira

DOI: https://doi.org/10.36660/abc.20250689

Objective: *To evaluate the cost-effectiveness and budget impact of incorporating CCTA as the initial diagnostic strategy for patients with suspected stable CAD from the SUS perspective.*

Methods: *A cost-effectiveness analysis (CEA) and a budget impact analysis (BIA) were conducted, comparing CCTA with invasive coronary angiography (ICA) and with a panel of functional tests in patients with suspected stable CAD. A one-year time horizon was adopted for the CEA and five years for the BIA. Effectiveness outcomes included the incidence of acute myocardial infarction (AMI), revascularization rates, and hospitalizations. Deterministic and probabilistic sensitivity analyses were performed.*

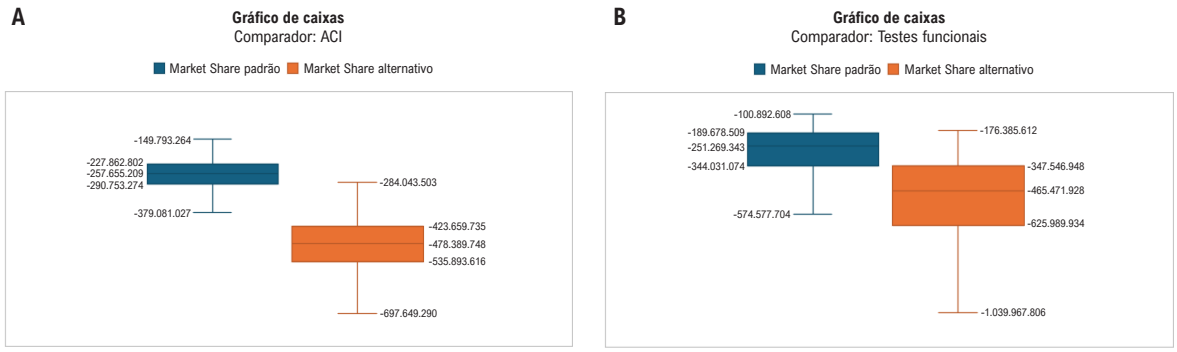
Results: *CCTA proved to be cost-effective, reducing costs related to AMI (R$610.18 vs. R$867.80), revascularization (R$1,378.14 vs. R$1,833.84), and hospitalization (R$602.86 vs. R$932.79), resulting in savings of R$329.93 per patient. Compared with functional tests, CCTA also reduced costs associated with AMI (R$610.18 vs. R$658.36), revascularization (R$1,378.14 vs. R$1,659.18), and hospitalization (R$602.86 vs. R$628.16). The BIA projected cumulative savings for SUS ranging from R$34.1 million to R$73 million over five years, depending on the comparator and diffusion scenario.*

Conclusions: *The results suggest that using CCTA as the initial diagnostic test for patients with low-to-moderate risk of CAD in SUS may represent an economically favorable strategy, with potential to generate substantial cost savings compared with the evaluated alternatives.*

Keywords: *X-Ray Computed Tomography; Coronary Artery Disease; Cost-Effectiveness Analysis; Myocardial Infarction; Unified Health System.*

Full texts in English - https://abccardiol.org/en/

Figura Central: Análise de Custo-Efetividade e Impacto Orçamentário da Angiotomografia de Artérias Coronárias do Sistema Único de Saúde Brasileiro



Arq Bras Cardiol. 2026; 123(9):e20250689

Resultado da análise de impacto orçamentário. (A) Comparação AngioTc vs ACI e (B) Comparação AngioTc vs testes funcionais, apresentando cenários de market share padrão (azul) e alternativo (laranja). AngioTc: angiotomografia de artérias coronárias; ACI: angiografia coronária invasiva.

Introdução

A doença arterial coronariana (DAC) permanece como uma das principais causas de morbimortalidade no Brasil e impõe um ônus expressivo ao Sistema Único de Saúde (SUS).[1] Além dos custos diretos com consultas, exames, medicamentos e internações, somam-se gastos de alta complexidade e custos indiretos associados à perda de produtividade e reinternações.[2] Em um sistema universal pressionado por restrições orçamentárias, estratégias diagnósticas que otimizem o percurso assistencial – reduzindo eventos, evitando procedimentos invasivos desnecessários e direcionando terapias efetivas – são essenciais para melhorar desfechos clínicos e a alocação eficiente de recursos.[3]

A angiotomografia de artérias coronárias (AngioTC) tem se consolidado como um método anatômico de alta acurácia para avaliação da dor torácica estável, com elevado valor preditivo negativo para exclusão de DAC obstrutiva, capacidade de detectar doença não obstrutiva e de caracterizar a placa aterosclerótica.[4] A incorporação da AngioTC como porta de entrada diagnóstica pode antecipar a instituição de terapias preventivas, reduzir cateterismos diagnósticos desnecessários e racionalizar o uso de testes funcionais e procedimentos de revascularização.

Ensaios clínicos e estudos pragmáticos sustentam esse reposicionamento, demonstrando que a estratégia inicial anatômica com AngioTC apresenta desempenho equivalente à abordagem funcional em desfechos clínicos, com melhor discriminação de risco e menor proporção de angiografias coronárias invasivas (ACI) sem obstrução significativa.[4] A adição da AngioTC ao cuidado padrão aprimorou a precisão diagnóstica e se associou à redução de infarto do miocárdio em seguimento longitudinal.[5] Mais recentemente, demonstrou-se ainda que, em pacientes com dor torácica estável e risco baixo a intermediário, a estratégia inicial com

AngioTC reduz complicações relacionadas ao procedimento e mantém desfechos clínicos comparáveis aos da ACI.[6]

Do ponto de vista econômico, análises internacionais de custo-efetividade apontam vantagem para estratégias iniciais anatômicas em cenários de dor torácica de baixo risco, mostrando que a AngioTc pode ser custo-efetiva quando comparada a testes funcionais.[7] Em paralelo, avaliações brasileiras preliminares sugerem que, no contexto do SUS, a AngioTc tem potencial para reduzir custos incrementais por desfecho evitado e melhorar a eficiência do cuidado.[8]

Apesar desse corpo de evidências, persiste uma lacuna relevante: a carência de dados nacionais robustos e atualizados que incorporem custos reais do SUS, trajetórias assistenciais típicas, utilidades em saúde locais e horizontes de tempo suficientemente longos para capturar benefícios clínicos e econômicos sustentados da estratégia anatômica. Diante disso, o presente estudo tem por objetivo realizar uma análise de custo-efetividade da AngioTc na perspectiva do SUS, contextualizada pela realidade brasileira e comparada a alternativas diagnósticas não invasivas e invasivas para pacientes com risco baixo-moderado de apresentar DAC.

Métodos

Para compreender o impacto clínico e econômico da incorporação da AngioTc em pacientes com risco baixo-moderado de apresentar DAC, foi desenvolvido um modelo de custo-efetividade. Esta análise tem o objetivo de avaliar a razão de custo-efetividade incremental (RCEI) da realização do AngioTc em pacientes com dor precordial com risco baixo-moderado de apresentar DAC. Dessa forma, foi construído um modelo baseado em estudos encontrados na literatura, adaptado à realidade e recomendações atuais para o Brasil, e validado por especialistas.

A análise foi conduzida sob a perspectiva do SUS, sob um horizonte temporal de um ano para a análise de custo-efetividade e de cinco anos para a análise de impacto orçamentário (AIO). Com a finalidade de aumentar a transparência do estudo proposto, os principais aspectos do estudo foram sumarizados conforme *o checklist Consolidated Health Economic Evaluation Report*[9] apresentado no Suplemento (Tabela S1).

A população considerada para a análise de custo-efetividade consistiu em pacientes com risco baixo a moderado de apresentar DAC, com sintomas sugestivos de isquemia miocárdica, mas sem evidências de eventos cardíacos agudos recentes. As características dessa população (probabilidade pré-teste de DAC) refletem um perfil semelhante ao dos participantes incluídos nos ensaios clínicos randomizados PROMISE e DISCHARGE.

Os comparadores escolhidos foram: ACI e testes funcionais (cintilografia de miocárdio para avaliação da perfusão sob estresse, com no mínimo três projeções; ecocardiografia de estresse; teste ergométrico). A comparação entre AngioTC, ACI e testes funcionais permite avaliar não apenas a eficácia diagnóstica e clínica, mas também a viabilidade econômica das alternativas, fornecendo uma base sólida para decisões em saúde baseadas em evidências.

As medidas de efetividade utilizadas na análise incluíram:

• Proporção de pacientes que apresentaram infarto agudo do miocárdio (IAM): indicador da incidência de IAM entre os pacientes diagnosticados, fundamental para mensurar a capacidade da intervenção de prevenir eventos adversos maiores.

• Taxas de hospitalização: métrica que reflete a habilidade da intervenção de evitar internações desnecessárias, contribuindo para a sustentabilidade do sistema de saúde e para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes.

• Necessidade de revascularização: avaliação de procedimentos como angioplastia ou cirurgia de revascularização do miocárdio, assegurando que os pacientes recebam o tratamento mais apropriado.

A árvore de decisão está ilustrada na Figura 1.

Parâmetros, utilidade e custos

Os parâmetros usados na análise foram obtidos de fontes como o estudo de referência DISCHARGE (2022)[6] e o estudo PROMISE (2015)[4] para garantir a precisão e a comparabilidade dos dados. Cada estudo contribuiu com parâmetros referentes ao seu grupo de pacientes característicos, compondo os estados de saúde avaliados. Os parâmetros incluíram:

• Tempo até o infarto agudo do miocárdio (IAM), hospitalizações e revascularizações: Dados que refletem a progressão e o manejo da condição.

• Multiplicação por um fator de 100: Feita para facilitar cálculos e comparações.

• Fontes de dados de custos: os valores relacionados ao tratamento dos desfechos e ao diagnóstico foram baseados em tabelas oficiais, como BPS 2024[10] e SIGTAP 2024[11] assegurando uma análise fundamentada em valores padronizados e reconhecidos. A Tabela 1 detalha esses parâmetros para maior transparência e compreensão dos dados utilizados.

O levantamento de custos foi conduzido sob a perspectiva do SUS, utilizando como referência os valores de remuneração oficial disponíveis no banco SIGTAP/BPS. A análise adotou o real (R$) como moeda e teve como ano-base 2025. O custo estimado da AngioTc foi de R$ 550,00, enquanto o dos testes funcionais atingiu R$ 591,52.

A definição desse valor considerou as proporções de utilização dos exames diagnósticos descritas no estudo PROMISE,[4] aplicado como proxy para o cenário nacional. Foram incluídos três métodos funcionais com uso consolidado no SUS:

• Cintilografia de miocárdio para avaliação de perfusão sob estresse (mínimo 3 projeções) – custo unitário de R$ 408,52, resultando em R$ 817,04 por paciente quando aplicado o protocolo completo. Esse exame representou 67,5% da distribuição proporcional do PROMISE,[4] resultando em valor médio ponderado de 551,40.

• Ecocardiografia de estresse – custo unitário de R$ 165,00, equivalente a 22,4% da distribuição, com valor médio ponderado de R$ 36,96 por paciente.

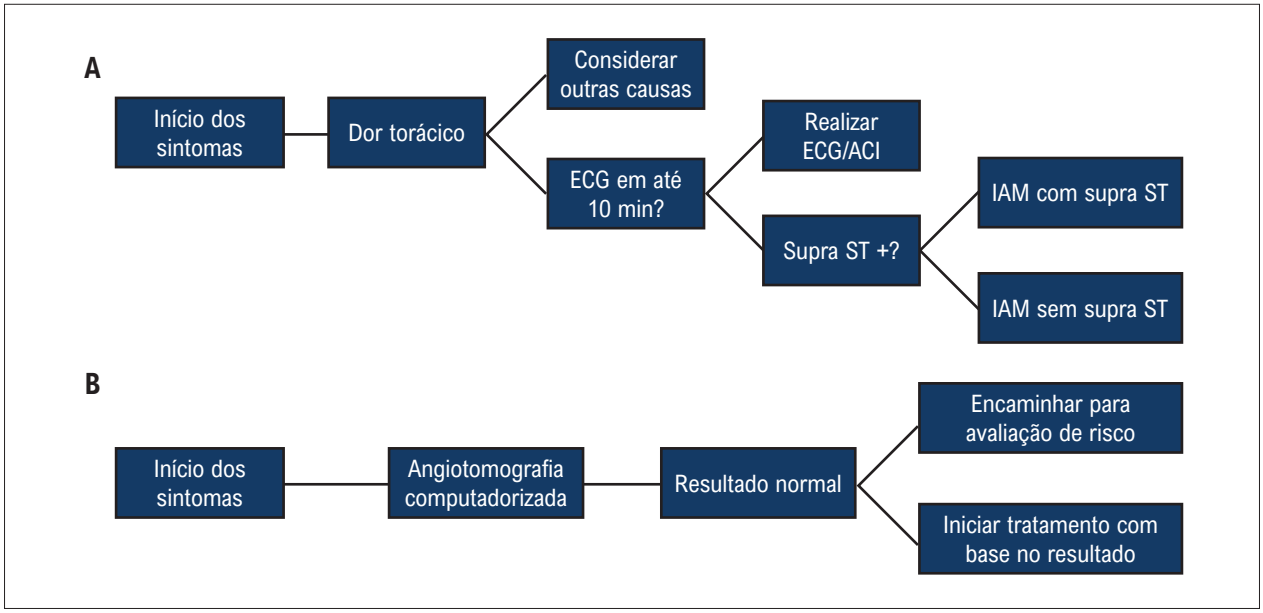


Figura 1 – *Modelo de árvore de decisão; ECG: eletrocardiograma; IAM: infarto agudo do miocárdio.*

Tabela 1 – Parâmetros utilizados na análise de custo – efetividade

Parâmetro	Valor utilizado	Referência
AngioTc vs ACI		
Probabilidade de infarto - AngioTc	2,10%	DISCHARGE, 2022[6]
Probabilidade de infarto – ACI	3,00%	
Probabilidade de revascularização - AngioTc	14,20%	
Probabilidade de revascularização – ACI	18,00%	
Probabilidade de hospitalização - AngioTc	0,20%	
Probabilidade de hospitalização – ACI	0,60%	
AngioTc vs Testes Funcionais		
Parâmetro	**Valor utilizado**	**Referência**
Probabilidade de infarto - Testes funcionais	2,33%	PROMISE, 2015[4]
Probabilidade de revascularização - Testes funcionais	18,25%	
Probabilidade de hospitalização - Testes funcionais	0,15%	

AngioTc: angiotomografia de artérias coronárias; ACI: angiografia coronária invasiva; RCEI: razão de custo efetividade incremental.

• Teste ergométrico – custo unitário de R$ 30,00, representando 10,2% da distribuição, com valor médio ponderado de R$ 3,06.

A soma dos valores médios ponderados resulta em um custo final estimado de R$ 591,52 por paciente, refletindo o perfil de utilização dos exames funcionais na prática clínica atual, considerando as proporções de 67,5% para cintilografia, 22,4% para ecocardiografia de estresse e 10,2% para teste ergométrico.

Foram consideradas três estratégias terapêuticas para pacientes com dor torácica ou síndrome coronariana: tratamento clínico (incluindo IAM), intervenção coronária percutânea (ICP) e cirurgia de revascularização miocárdica (CRM).

1. Tratamento clínico: o custo total estimado para o manejo clínico de pacientes com IAM foi de R$ 2863,11, considerando a utilização de medicamentos (como aspirina, clopidogrel, enoxaparina, betabloqueadores, estatinas), exames laboratoriais e de imagem (como eletrocardiograma, ecocardiograma e exames séricos seriados), além de internação hospitalar (duas diárias em enfermaria e três dias em unidade de terapia intensiva

coronariana). Todos os itens foram utilizados em 100% dos pacientes avaliados. Para fins de modelagem, o desfecho clínico de IAM englobou todos os eventos cardiovasculares dessa natureza (i ncluindo IAM fatal e não-fatal).

2. ICP: O custo total estimado do procedimento de angioplastia coronariana com implante de *stent* foi de R$ 5848,74, abrangendo os custos com internação em Unidade Coronariana (UCO) tipo II, exames complementares, medicamentos e materiais especializados, como o cateter balão e o *stent* farmacológico. O valor do exame de ACI utilizado para diagnóstico e planejamento do procedimento foi de R$ 782,87.

3. CRM: A estimativa de custo foi de R$ 23 892,04, considerando uma internação hospitalar mais prolongada em UCO, uso de medicamentos em doses ajustadas, exames complementares e o procedimento cirúrgico propriamente dito. Este valor representa o custo total da hospitalização com todos os insumos médicos diretos.

Todos os valores unitários foram extraídos da base SIGTAP/BPS, refletindo os valores pagos pelo SUS. A quantidade de uso de cada item foi determinada com base em protocolos clínicos padronizados para cada tipo de manejo. A Tabela S2 detalha os custos finais levantados, com base no microcusteio realizado, incluindo exames, terapias e custos relacionados a intercorrências clínicas.

Análise de sensibilidade probabilística multivariada

Foram conduzidas análises de sensibilidade determinística e probabilística com o objetivo de avaliar a robustez dos resultados do modelo diante da incerteza inerente aos parâmetros utilizados. A análise de sensibilidade determinística foi realizada por meio de variações univariadas nos principais parâmetros, adotando-se uma faixa de ±20% em relação aos valores centrais, conforme recomendação oficial da Diretriz de Avaliação Econômica do Ministério da Saúde, utilizada como padrão na ausência de dados de variância na literatura. Essa abordagem permitiu identificar os parâmetros de maior influência sobre os resultados do modelo.

A análise de sensibilidade probabilística foi conduzida por meio de simulações de Monte Carlo de segunda ordem, com 1000 iterações. Os parâmetros foram modelados segundo distribuições adequadas ao tipo de variável: distribuição Gama para custos e demanda, e distribuição Beta para probabilidades. Considerou-se um intervalo de confiança de 95% nas estimativas.

Análise de impacto orçamentário

A análise de impacto orçamentário foi realizada de forma acoplada à avaliação de custo-efetividade, considerando a incorporação da AngioTc no SUS para pacientes com suspeita de DAC estável. A estimativa da população elegível utilizou o método de demanda aferida, com base em dados do DATASUS para procedimentos diagnósticos invasivos (cateterismo) e testes funcionais, aplicando-se um recorte etário (≥40 anos). As projeções futuras foram ajustadas pela taxa de crescimento populacional (IBGE).

A escolha do procedimento angiografia de arco aórtico para a estimativa populacional deve-se ao fato de este ser o procedimento de referência codificado e realizado no SUS e é comparador direto para a tecnologia submetida. Em conformidade com as diretrizes metodológicas brasileiras para análise de impacto orçamentário (AIO), utilizamos a produção histórica deste código oficial (via TABNET/DATASUS) para estimar com precisão o volume de pacientes elegíveis que migrariam para a nova tecnologia ou se beneficiariam dela, garantindo que a estimativa reflita a demanda real auditada pelo sistema público. Os detalhes da AIO estão descritos no Material Suplementar.

Foram modelados dois cenários de difusão da tecnologia:

- **Base**: crescimento anual de 5% no uso da AngioTc;
- **Alternativo**: crescimento de 9,3% ao ano, baseado em evidências internacionais;[12]

O horizonte temporal da análise foi de cinco anos, adotando a perspectiva do SUS. Foram considerados custos com exames diagnósticos, tratamento de eventos clínicos e aquisição de equipamentos. A análise contemplou dois cenários para infraestrutura:

- **Base**: sem necessidade de novos tomógrafos;
- **Alternativo**: com aquisição adicional de tomógrafos, com base em valores médios de mercado.

No cenário base, estima-se que a população elegível aumente de aproximadamente 7,9 mil pacientes em 2025 para cerca de 42,8 mil em 2029 quando comparada ao ACI, e de 16,1 mil para 86,9 mil quando comparada aos testes funcionais.

No cenário alternativo, a adoção mais rápida da AngioTc eleva a população elegível já nos primeiros anos, passando de cerca de 14,7 mil pacientes em 2025 para 31,8 mil em 2029 quando comparada ao ACI, e de 17,0 mil para 36,7 mil em relação aos testes funcionais. O custo de instalação foi parametrizado como R$ 0,00 no modelo de impacto orçamentário, considerando que a estrutura física e dos equipamentos periféricos já estão disponíveis nos centros de atenção cardiovascular de alta complexidade para realizar a angiotomografia coronariana.

Resultados

Comparação AngioTc versus ACI

Análise custo-efetividade. Para o desfecho de IAM, a AngioTc apresentou menor incidência de eventos clínicos (2,10% vs. 2,97%) e custo médio inferior (R$ 610,18 vs. R$ 867,80), resultando em economia de R$ 257,62 [IC 95%: -R$ 97,64 a R$ 225,86] por paciente. Em relação à revascularização do miocárdio, a AngioTc também se mostrou vantajosa, reduzindo a taxa de procedimentos (14,16% vs. 17,97%) e os custos associados (R$ 1.378,14 vs. R$ 1.833,84), com economia de R$ 455,70 [IC 95%: R$ 47,75 a R$ 516,56] por paciente. No que tange às hospitalizações, observou-se uma taxa menor de internações com a AngioTc (0,22% vs. 0,63%), além de menor custo médio (R$ 602,86 vs. R$ 932,79), representando economia

de R$ 329,93 [IC 95%: -R$ 51,69 a R$ 487,86] por paciente (Tabela 2). Esses dados configuram a AngioTc dominante em todos os cenários analisados.

Análise de Sensibilidade. A análise de sensibilidade probabilística mostrou que a maioria dos cenários simulados se concentrou no quadrante de menor custo e maior efetividade, reforçando a dominância econômica da AngioTc, com o ponto de base e a mediana confirmando essa tendência para os três desfechos (IAM, revascularização e hospitalização), ilustrados nas Figuras 2A, 2B e 2C, respectivamente. Já a análise determinística univariada identificou como principais determinantes do resultado incremental o risco relativo de infarto, o custo dos exames e os custos associados ao IAM, enquanto variáveis como taxas de desconto e probabilidades de revascularização ou hospitalização tiveram impacto mínimo, evidenciando que os custos diretos e os eventos clínicos graves são os fatores de maior influência na robustez da análise (Figura 3A).

Para o desfecho de revascularização, na análise determinística (Figura 3B), os fatores de maior impacto foram o custo dos exames e o risco relativo de revascularização, enquanto variáveis como taxa de desconto, probabilidade de infarto, hospitalização e revascularização associadas à AngioTc tiveram efeito mínimo, indicando que o modelo é particularmente sensível a custos diretos e desfechos de revascularização. No desfecho hospitalização, na análise determinística (Figura 3C), os fatores de maior impacto foram o risco relativo de hospitalização e os custos de exames e internações, enquanto variáveis como probabilidades de eventos clínicos, taxa de desconto e risco de revascularização tiveram influência mínima, destacando as principais fontes de incerteza do modelo.

Análise de impacto orçamentário. No cenário base de difusão conservadora (5% ao ano), apresentado na Tabela S6, o custo total acumulado ao longo de 5 anos foi de aproximadamente R$ 1,42 bilhão no cenário proposto com AngioTc, em contraste com R$ 1,45 bilhão no cenário atual de uso da ACI. Essa diferença resultou em uma economia global de cerca de R$ 34,1 milhões quando considerada a utilização da capacidade instalada existente, sem a aquisição de novos equipamentos. O impacto incremental manteve-se negativo em todos os anos, variando de -R$ 2,1 milhões em 2026 até -R$ 11,6 milhões em 2030, com custo incremental por paciente totalizando -R$ 223,33 no horizonte de análise. Já no cenário com aquisição de novos equipamentos, ainda que os ganhos tenham sido reduzidos, a economia acumulada permaneceu significativa, atingindo aproximadamente R$ 21,5 milhões, com custo incremental por paciente de -R$ 141,01.

No cenário alternativo de difusão acelerada (9,3% ao ano), presente na Figura Central (A), os resultados foram ainda mais expressivos. O custo total acumulado no cenário proposto foi de cerca de R$ 1,39 bilhão, frente a R$ 1,45 bilhão no cenário atual, o que corresponde a uma economia global de aproximadamente R$ 63,3 milhões quando considerada apenas a capacidade instalada existente. O impacto incremental variou de -R$ 4,0 milhões em 2026 até -R$ 21,5 milhões em 2030, e o custo incremental por paciente alcançou -R$ 414,96 ao final do período. No cenário alternativo com aquisição de novos tomógrafos, a economia também se manteve, embora em menor magnitude, somando cerca de R$ 38,1 milhões ao longo de cinco anos, com custo incremental por paciente de -R$ 250,32 (Tabela S7).

Tabela 2 – Análise de custo-efetividade – comparado com angiografia coronariana invasiva (ACI)

Desfechos	AngioTc	ACI	Incremental
Custo total	R$ 610,18	R$ 867,80	- R$ 257,62
Infarto agudo do miocárdio (IAM)	2,10%	2,97%	0,86% evitados
RCEI (R$)			Dominante RCEI: -29.798 (IC95%: -85.720; 49.396)
Custo total	R$ 1.378,14	R$ 1.833,84	- R$ 455,70
Revascularização	14,16%	17,97%	3,81% evitados
RCEI (R$)			Dominante RCEI: -11.961 (IC95%: -13.337; -1.990)
Custo total	R$ 602,86	R$ 932,79	- R$ 339,93
Hospitalização	0,22%	0,63%	0,41% evitados
RCEI (R$)			Dominante RCEI: -81.213 (IC95%: -223.797; 119.863)

AngioTc: angiotomografia de artérias coronárias; ACI: angiografia coronária invasiva; IC95%: intervalo de confiança de 95%; RCEI: razão de custo efetividade incremental.

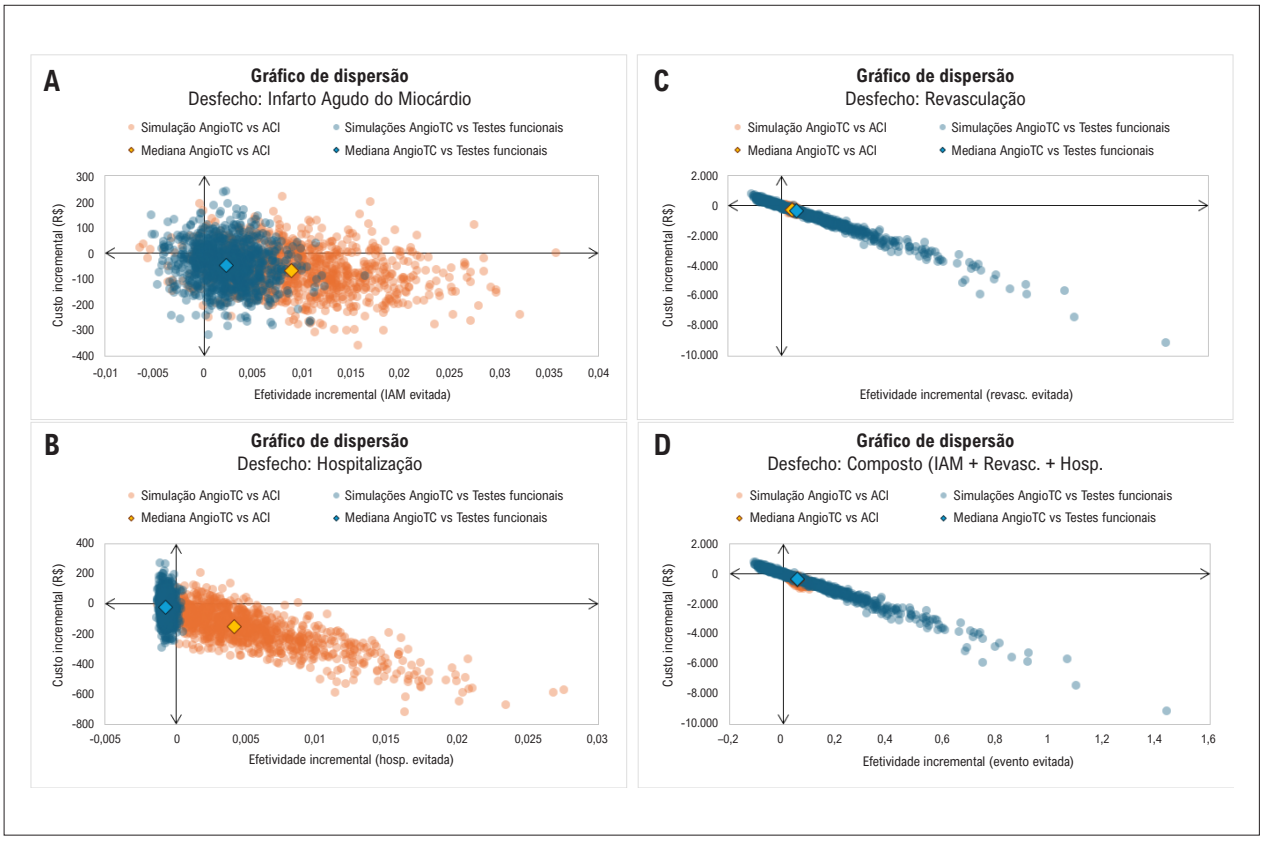


Figura 2 – *Gráficos de dispersão da análise de sensibilidade probabilística do custo-efetividade para os desfechos: (A) Infarto Agudo do Miocárdio, (B) Hospitalização, (C) Revascularização e (D) Desfecho composto (IAM + Revascularização + Hospitalização), comparando AngioTc vs ACI (laranja) e AngioTc vs testes funcionais (azul), com losangos representando as medianas. AngioTc: angiotomografia de artérias coronárias; ACI: angiografia coronária invasiva; RCEI: razão de custo efetividade incremental.*

Comparação angio-TC versus testes funcionais

Análise custo-efetividade. Ao comparar a AngioTc com os testes funcionais, a avaliação de custo-efetividade dos desfechos clínicos demonstrou que a tecnologia permanece mais eficaz e menos onerosa na maioria dos cenários, configurando-se como estratégia dominante em duas das três análises conduzidas. No desfecho de IAM, a AngioTc apresentou menor incidência de eventos clínicos (2,10% vs. 2,33%), associada a uma economia média de R$ 48,18 [IC 95%: -R$ 111,24 a R$ 199,04] por paciente (R$ 610,18 vs. R$ 658,36). Esse resultado confirma sua dominância econômica, ao combinar redução de eventos adversos e menores custos diretos.

Em relação à revascularização, a AngioTc também se mostrou superior, com redução de 4,10 pontos percentuais na taxa de procedimentos (14,16% vs. 18,25%) e economia de R$ 281,04 [IC 95%: -R$ 484,90 a R$ 3351,87] por paciente (R$ 1378,14 vs. R$ 1659,18). Já no desfecho de hospitalização, embora a AngioTc tenha apresentado menor custo médio (R$ 602,86 vs. R$ 628,16; economia de R$ 25,31 [IC 95%: -R$ 135,76 a R$ 178,04] por paciente), a taxa de eventos foi discretamente superior (0,22% vs. 0,15%). Esse cenário caracteriza a estratégia como de menor custo, porém também menor efetividade. Os dados completos de custo e eficácia encontram-se detalhados na Tabela 3.

Análise de sensibilidade. Para os desfechos IAM e revascularização**,** a PSA, percebe-se que a distribuição das simulações está no plano de custo e efetividade incremental. A maior parte dos pontos encontra-se próxima ao eixo horizontal e tende a se concentrar no quadrante inferior direito, sugerindo que, em grande parte dos cenários, a estratégia avaliada se mostra mais efetiva e menos custosa do que a alternativa comparada. Apesar da dispersão dos resultados, a mediana (em vermelho) se posiciona em uma região que confirma essa tendência de dominância, enquanto o ponto de base (em azul) indica consistência na direção dos achados (Figuras 2A, 2B e 2C). Assim, a PSA reforça a robustez da intervenção analisada, mesmo diante de incertezas nos parâmetros do modelo. Para o desfecho hospitalização, a análise probabilística (Figura 2B) mostrou ampla dispersão das simulações, com predominância de cenários de menor custo e discretos ganhos de efetividade, indicando tendência de economia com manutenção ou leve melhora clínica.

A análise de sensibilidade determinística univariada (DAS, do inglês *deterministic sensitivity analysis*), observa-se que as variáveis com maior impacto sobre o resultado incremental

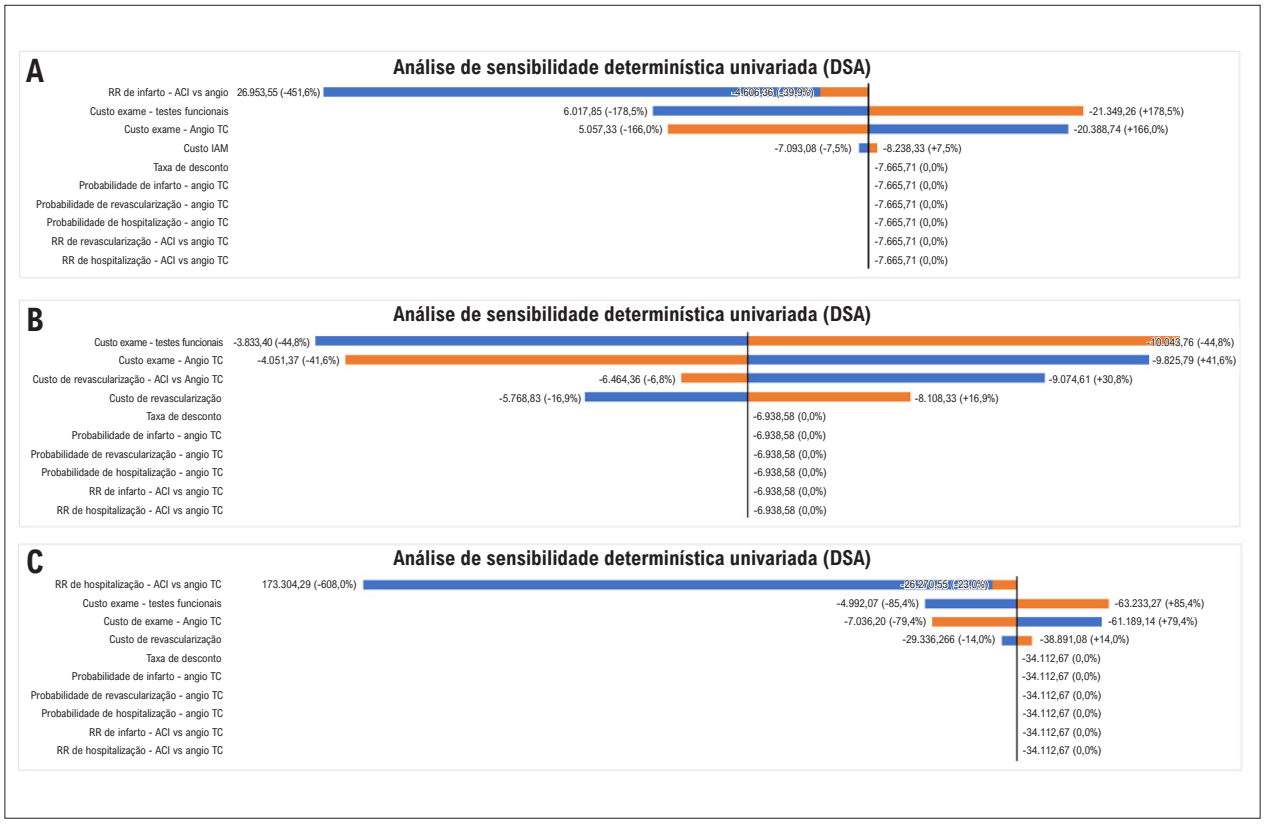


Figura 3 – *Análise de sensibilidade determinística univariada (DSA) para a comparação entre AngioTc e ACI nos diferentes desfechos: (A) Infarto Agudo do Miocárdio (IAM), (B) Revascularização e (C) Hospitalização. AngioTc: angiotomografia de artérias coronárias; ACI: angiografia coronária invasiva; RCEI: razão de custo efetividade incremental.*

Tabela 3 – Análise de custo-efetividade – comparado com Testes Funcionais

Desfechos	AngioTc	Testes funcionais	Incremental
Custo total	R$ 610,18	R$ 658,36	- R$ 48,18
Infarto agudo do miocárdio (IAM)	2,10%	2,33%	0,23% evitados
RCEI (R$)			Dominante RCEI: -20.707 (IC95%: -368.821; 192.620)
Custo total	R$ 1.378,14	R$ 1.659,18	- R$ 281,04
Revascularização	14,16%	18,25%	4,10% evitados
RCEI (R$)			Dominante RCEI: -6.863 (IC95%: -14.691; 2.084)
Custo total	R$ 602,86	R$ 628,16	-R$ 25,31
Hospitalização	0,22%	0,15%	+ 0,07%
RCEI (R$)			Menor preço com menor efetividade RCEI: 37.285 (IC95%: -360.157; 712.402)

AngioTc: angiotomografia de artérias coronárias; ACI: angiografia coronária invasiva; IC95%: intervalo de confiança de 95%; RCEI: razão de custo efetividade incrementa.

são os custos dos exames (testes funcionais e AngioTc) e o risco relativo de infarto entre funcionais e a AngioTc. Esses fatores apresentam grandes amplitudes de variação, demonstrando que são os principais responsáveis pela instabilidade dos resultados. Em contrapartida, variáveis como custos relacionados ao IAM, taxa de desconto e probabilidades de eventos clínicos associados à AngioTc apresentaram variação mínima ou nula, revelando baixa influência no desfecho final. Dessa forma, a DSA indica que a incerteza da análise se concentra sobretudo nos custos dos exames e nos riscos relativos de infarto, enquanto os demais parâmetros exercem papel secundário (Figura 4A).

Já a análise determinística (Figura 4B) mostrou maior impacto dos custos dos exames e da revascularização sobre o resultado incremental, enquanto variáveis clínicas, taxas de desconto e riscos relativos apresentaram influência mínima, indicando que os custos diretos são os principais determinantes da incerteza do modelo. Já a análise determinística (Figura 4C) evidenciou maior impacto do risco relativo de hospitalização e dos custos dos exames, enquanto variáveis como custos de internação, taxa de desconto e probabilidades de eventos clínicos tiveram influência mínima, destacando os principais determinantes de incerteza do modelo.

Análise de impacto orçamentário. No cenário base de difusão conservadora (5% ao ano), apresentado na Tabela S8 e Ilustração Central (B), o custo total acumulado entre 2026 e 2030 foi de R$ 1,64 bilhão no cenário proposto, em contraste com R$ 1,68 bilhão no cenário atual, o que representa uma economia global de aproximadamente R$ 39,3 milhões quando considerada a utilização da infraestrutura já existente, sem aquisição de novos tomógrafos. O impacto incremental anual foi negativo em todos os anos, variando de -R$ 2,49 milhões em 2026 a -R$ 13,4 milhões em 2030. O custo incremental por paciente acompanhou essa tendência, acumulando uma redução de -R$ 223,33 ao final do período. No cenário alternativo que incorpora a necessidade de aquisição de equipamentos, ainda que os ganhos tenham sido menores, manteve-se uma economia acumulada de aproximadamente R$ 23,6 milhões, com custo incremental por paciente de -R$ 134,13.

No cenário alternativo de difusão acelerada (9,3% ao ano), apresentado na Figura 4B, as economias foram ainda mais expressivas. O custo total acumulado caiu para R$ 1,61 bilhão no cenário proposto, frente a R$ 1,68 bilhão no cenário atual, correspondendo a uma economia global de aproximadamente R$ 73 milhões quando considerada a capacidade instalada existente. O impacto incremental variou de -R$ 4,63 milhões em 2026 a -R$ 24,9 milhões em 2030, com custo incremental por paciente acumulado de -R$ 414,96. No cenário com aquisição de equipamentos adicionais, a economia foi de menor magnitude, mas ainda relevante, totalizando R$ 44,7 milhões no período, com custo incremental por paciente de -R$ 254,40 (Tabela S9). Em síntese, tanto no cenário conservador quanto no acelerado de difusão, e independentemente da necessidade de novos tomógrafos, a AngioTc mostrou-se vantajosa frente aos testes funcionais, promovendo reduções consistentes nos custos assistenciais do SUS.

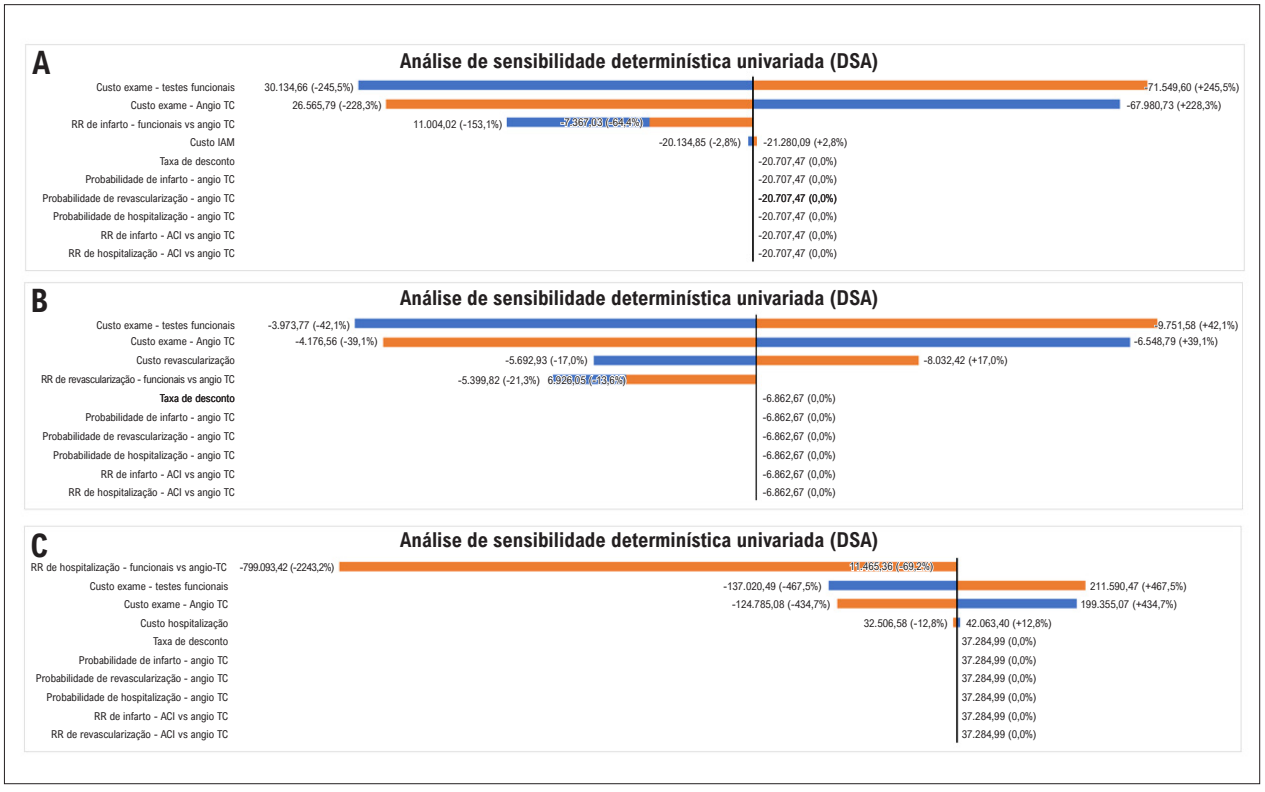


Figura 4 – *Análise de sensibilidade determinística univariada (DSA) para a comparação entre AngioTc e testes funcionais nos diferentes desfechos: (A) Infarto Agudo do Miocárdio (IAM), (B) Revascularização e (C) Hospitalização.*

Discussão

Este estudo pioneiro, realizado no contexto brasileiro, avaliou a custo-efetividade e o impacto orçamentário da AngioTc em comparação tanto à ACI quanto aos testes funcionais sob a perspectiva do SUS. Os resultados sugerem que a AngioTc pode representar uma estratégia potencialmente vantajosa, associada a menores custos e maior eficiência em praticamente todos os cenários analisados, reforçando seu papel como método de escolha inicial para avaliação de pacientes com risco baixo-moderado de apresentar DAC. A angiotomografia de artérias coronárias é ferramenta capaz de fornecer diagnóstico anatômico de DAC de modo não invasivo.

Na análise comparativa entre AngioTc e ACI, a AngioTc apresentou custo médio inferior em todos os desfechos: economia de R$ 257,62 por paciente no infarto agudo do miocárdio, de R$ 455,70 por paciente em revascularizações miocárdicas e de R$ 329,93 por paciente em hospitalizações. Esses valores confirmam a superioridade econômica da AngioTc em relação à estratégia invasiva. Na comparação com os testes funcionais, a AngioTc também demonstrou economia em quase todos os cenários. Observou-se redução média de R$ 48,18 por paciente no desfecho de infarto, de R$ 281,04 por paciente em revascularizações e de R$ 25,31 por paciente em hospitalizações. Ainda que o último cenário tenha mostrado menor custo associado a pequena diferença de efetividade, o impacto econômico global favorece a AngioTc como tecnologia dominante.

A análise de impacto orçamentário ampliou a relevância dos achados, projetando economia acumulada de R$ 63,3 milhões frente à ACI e de R$ 73,0 milhões frente aos testes funcionais, mesmo considerando apenas a atual capacidade instalada no país. Em um sistema universal como o SUS, com recursos limitados e crescente demanda, tais valores evidenciam a importância de incorporar estratégias diagnósticas mais custo-efetivas.

Os resultados apresentados dialogam com as principais recomendações internacionais. O NICE, no Reino Unido, recomenda a AngioTc como primeira linha na avaliação de pacientes com dor torácica estável e probabilidade intermediária de DAC obstrutiva, reservando os testes funcionais para casos inconclusivos.[13] De forma semelhante, as diretrizes europeias também reconhecem a AngioTc como método inicial preferencial.[14] Nos Estados Unidos, embora ainda haja maior espaço para o uso do teste ergométrico, principalmente em pacientes capazes de atingir altos níveis de exercício, essa abordagem mostra limitações, uma vez que não detecta DAC não obstrutiva.[15]

Ensaios clínicos de grande porte, como PROMISE, SCOT-HEART e DISCHARGE, destacaram a acurácia diagnóstica e o impacto prognóstico da AngioTc, evidenciando melhor capacidade de detecção da DAC, mas também redução de eventos cardiovasculares e otimização do uso de recursos de saúde.[4-6] Em particular, o estudo SCOT-HEART 2018 demonstrou que o uso da AngioTC, associado ao cuidado padrão, resultou em uma taxa significativamente menor do desfecho primário (morte por doença cardíaca coronariana ou infarto do miocárdio não fatal) quando comparado ao cuidado padrão isolado [2,3% vs. 3,9%; Hazard Ratio (HR), 0,59; IC 95%, 0,41 a 0,84; p=0,004], além de oferecer diagnóstico mais preciso, contribui para a estratificação adequada do risco e para a orientação terapêutica, refletindo em melhores desfechos clínicos.[16]

Além de sua acurácia diagnóstica, a AngioTc oferece a vantagem de reduzir a realização de procedimentos invasivos desnecessários. Estudos prévios demonstraram que a adoção de uma estratégia baseada na AngioTc resultou em uma diminuição de mais de 70% nas indicações desnecessárias de ACI, com consequente redução dos riscos relacionados a intervenções invasivas e uso racional dos recursos em saúde, sem comprometimento dos resultados clínicos.[17,18]

Os estudos analisados neste relatório se concentraram predominantemente em pacientes com probabilidade pré-teste intermediária de DAC obstrutiva, os resultados devem ser interpretados prioritariamente nesse contexto específico.[4-6] Contudo, diante da elevada demanda por exames relacionados à DAC, os achados assumem relevância ampliada para os prestadores de serviços de saúde, fornecendo subsídios para a definição do papel relativo de diferentes modalidades diagnósticas nos fluxos clínicos da aterosclerose.

Nosso estudo apresenta algumas limitações que merecem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, ele foi desenhado para a realidade pública brasileira e dessa forma, os dados utilizados foram extraídos de fontes oficiais disponíveis e todos os valores unitários foram extraídos da base SIGTAP/BPS, refletindo os valores pagos pelo SUS. A análise baseou-se em valores de remuneração oficial, que frequentemente se situam abaixo dos custos reais da prestação de serviços, mas são os valores regularizados pelo SUS. Na carência de dados nacionais foram utilizados dados extraídos de ensaios clínicos randomizados previamente citados. Para o presente estudo foi estimado um horizonte temporal de cinco anos adotado, o que pode subestimar os benefícios de longo prazo, especialmente no que se refere à prevenção cumulativa de IAM e procedimentos de revascularização. Outro ponto é a avaliação limitada sobre a disponibilidade adequada de tomógrafos no território nacional, que apresenta distribuição desigual desses equipamentos, bem como de profissionais especializados para aquisição e análise dos exames. Por fim, a estimativa da proporção de utilização de testes funcionais, baseada nos dados do estudo PROMISE,[4] não reflete fielmente a prática clínica no Brasil, particularmente no que diz respeito ao uso dos testes funcionais. Mas este é o principal estudo clínico com metodologia adequada que compara as diferentes tecnologias abordadas.

Apesar dessas limitações, o presente estudo contribui para suprir uma lacuna de evidências no cenário nacional, ao demonstrar que a incorporação da AngioTc ao SUS apresenta potencial para reduzir a realização de procedimentos invasivos desnecessários, otimizar custos e ampliar a equidade no acesso ao diagnóstico da DAC. Tal iniciativa representa um passo inicial para alinhar o Brasil às melhores práticas internacionais, promovendo maior eficiência no cuidado cardiovascular e gerando benefícios tanto para pacientes quanto para gestores e para o sistema de saúde como um todo.

Conclusões

A angiotomografia de artérias coronárias mostrou-se uma estratégia dominante e custo-efetiva em comparação à angiografia coronariana invasiva e testes funcionais em pacientes com risco baixo a moderado de DAC sob a perspectiva do Sistema Único de Saúde brasileiro. Sua implementação ao longo de cinco anos resultaria em economia significativa ao sistema de saúde.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa: Costa IBSS, Torreão JA, Shiozaki A, Trad HS; Obtenção de dados: Costa IBSS, Torreão JA, Trad HS; Análise e interpretação dos dados: Costa IBSS, Torreão JA, Shiozaki A, Trad HS, Lopes LES, Bittencourt MS; Análise estatística: Trad HS, Lopes LES, Bittencourt MS; Redação do manuscrito: Costa IBSS, Torreão JA, Shiozaki A; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Costa IBSS, Torreão JA, Bittencourt MS, Moretti MA, Barberato SH, Rochitte CE.

Potencial Conflito de Interesse

Luana Emanuelly Sinhori Lopes recebeu patrocinío da Siemens para análises estatísticas.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Aprovação Ética e Consentimento Informado

Este artigo não contém estudos com humanos ou animais realizados por nenhum dos autores.

Uso de Inteligência Artificial

Os autores não utilizaram ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento deste trabalho.

Disponibilidade de Dados

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

Referências

1. GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global Burden of 369 Diseases and Injuries in 204 Countries and Territories, 1990-2019: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. Lancet. 2020;396(10258):1204-22. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9.
2. Ribeiro AL, Duncan BB, Brant LC, Lotufo PA, Mill JG, Barreto SM. Cardiovascular Health in Brazil: Trends and Perspectives. Circulation. 2016;133(4):422-33. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.008727.
3. Magalhães TA, Carneiro ACC, Moreira VM, Trad HS, Lopes MMU, Cerci RJ, et al. Cardiovascular Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging Guideline of the Brazilian Society of Cardiology and the Brazilian College of Radiology - 2024. Arq Bras Cardiol. 2024;121(9):e20240608. doi: 10.36660/abc.20240608.
4. Douglas PS, Hoffmann U, Patel MR, Mark DB, Al-Khalidi HR, Cavanaugh B, et al. Outcomes of Anatomical versus Functional Testing for Coronary Artery Disease. N Engl J Med. 2015;372(14):1291-300. doi: 10.1056/NEJMoa1415516.
5. SCOT-HEART investigators. CT Coronary Angiography in Patients with Suspected Angina Due to Coronary Heart Disease (SCOT-HEART): An Open-Label, Parallel-Group, Multicentre Trial. Lancet. 2015;385(9985):2383-91. doi: 10.1016/S0140-6736(15)60291-4.
6. Maurovich-Horvat P, Bosserdt M, Kofoed KF, Rieckmann N, Benedek T, Donnelly P, et al. CT or Invasive Coronary Angiography in Stable Chest Pain. N Engl J Med. 2022;386(17):1591-602. doi: 10.1056/NEJMoa2200963.
7. Karády J, Mayrhofer T, Ivanov A, Foldyna B, Lu MT, Ferencik M, et al. Cost-Effectiveness Analysis of Anatomic vs Functional Index Testing in Patients with Low-Risk Stable Chest Pain. JAMA Netw Open. 2020;3(12):e2028312. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.28312.
8. Carmo PBD, Magliano CADS, Rey HCV, Camargo GC, Trocado LFL, Gottlieb I. Cost-Effectiveness Analysis of CCTA in SUS, as Compared to Other Non-Invasive Imaging Modalities in Suspected Obstructive CAD. Arq Bras Cardiol. 2022;118(3):578-85. doi: 10.36660/abc.20201050.
9. Husereau D, Drummond M, Augustovski F, Briggs AH, Carswell C, Caulley L, et al. Consolidated Health Economic Evaluation Reporting Standards 2022 (CHEERS 2022) Statement: Updated Reporting Guidance for Health Economic Evaluations. BJOG. 2022;129(3):336-44. doi: 10.1111/1471-0528.17012.
10. Brasil. Ministério da Saúde. Banco de Preços em Saúde (BPS) [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; 2025 [cited 2026 Jul 29]. Available from. https://bpssaudegovbr.
11. Brasil. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. TABNET: Tecnologia da Informação a Serviço do SUS [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; 2025 [cited 2026 Jul 29]. Available from:https://tabnet.datasus.gov.br.
12. Ni TT, Afgani FJ, Brenna CTA, Patel N, Nguyen ET. Cardiac Investigation Trends among Primary Care Physicians: A Paradigm Shift. Can Assoc Radiol J. 2023;74(2):305-13. doi: 10.1177/08465371221139825.
13. Padley SPG, Roditi G, Nicol ED; BSCI/BSCCT. Chest Pain of Recent Onset: Assessment and Diagnosis (CG95). A Step Change in the Requirement for Cardiovascular CT. Clin Radiol. 2017;72(9):751-3. doi: 10.1016/j.crad.2017.04.020.
14. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, Capodanno D, Barbato E, Funck-Brentano C, et al. 2019 ESC Guidelines for the Diagnosis and Management of Chronic Coronary Syndromes. Eur Heart J. 2020;41(3):407-77. doi: 10.1093/eurheartj/ehz425.
15. Gulati M, Levy PD, Mukherjee D, Amsterdam E, Bhatt DL, Birtcher KK, et al. 2021 AHA/ACC/ASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR Guideline for the Evaluation and Diagnosis of Chest Pain: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. Circulation. 2021;144(22):e368-e454. doi: 10.1161/CIR.0000000000001030.
16. Newby DE, Adamson PD, Berry C, Boon NA, Dweck MR, Flather M, et al. Coronary CT Angiography and 5-Year Risk of Myocardial Infarction. N Engl J Med. 2018;379(10):924-33. doi: 10.1056/NEJMoa1805971.

17. Reis JF, Ramos RB, Marques H, Daniel PM, Aguiar SR, Morais LA, et al. Cardiac Computed Tomographic Angiography after Abnormal Ischemia Test as a Gatekeeper to Invasive Coronary Angiography. Int J Cardiovasc Imaging. 2022;38(4):883-93. doi: 10.1007/s10554-021-02426-6.

18. Chang HJ, Lin FY, Gebow D, An HY, Andreini D, Bathina R, et al. Selective Referral Using CCTA versus Direct Referral for Individuals Referred to Invasive Coronary Angiography for Suspected CAD: A Randomized, Controlled, Open-Label Trial. JACC Cardiovasc Imaging. 2019;12(7 Pt 2):1303-12. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.09.018.

*Material suplementar

Para informação adicional, por favor, clique aqui.

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons