

# UMA APLICAÇÃO DE REDES BAYESIANAS EM CARDIOLOGIA PEDIÁTRICA

## **Bruno Luiz Assunção Moura**

Universidade Federal Rural de Pernambuco  
brunolmoura@gmail.com

## **Guilherme Vilar**

Universidade Federal Rural de Pernambuco  
guilherme\_vilar@yahoo.com.br

## **Jorge Silva Correia**

Universidade Federal Rural de Pernambuco  
jorgecorreianeto@gmail.com

## **Felipe Alves Mourato**

CIRCOR  
felipe.a.mourato@gmail.com

**RESUMO:** O uso de redes bayesianas (RB) tem se difundido por diversos campos. RB são grafos acíclicos dirigidos que representam dependências entre variáveis num modelo probabilístico, sendo indicada para lidar com problemas que tratam incertezas, sendo preciso mais do que conhecimento prévio sobre o problema. O estudo relata a criação de uma arquitetura de RB para diagnosticar cardiopatias pediátricas, com apoio do software Netica, alimentado com os dados de atendimento a pacientes do Círculo do Coração de Pernambuco (CCP), ligada à Unidade de Cardiologia e Medicina Fetal do Real Hospital Português. O objetivo desse trabalho foi avaliar o funcionamento de uma arquitetura de RB proposta dentro de um grupo de variáveis das cardiopatias como cianose, pulso e sopro, dentre outras. A RB criada mostrou-se eficiente no âmbito deste trabalho e um campo de estudo com profundo impacto no diagnóstico de cardiopatias pediátricas, com grande potencial de utilização na educação médica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rede Bayesiana; cardiopatia pediátrica; diagnóstico.

## THE APPLICATION OF BAYESIAN NETWORKS IN PEDIATRIC CARDIOLOGY

**ABSTRACT:** The use of Bayesian networks (BN) has been disseminated to several fields. BNs are directed acyclic graphs that represent dependence between variables within a probabilistic model and are indicated to solve problems that deal with uncertainties. They are more precise than the previous knowledge of the issue. Current study reports the establishment of BN architecture to diagnose pediatric cardiopathologies with software Netica, fed with attendance data of patients at the Círculo do Coração de Pernambuco (CCP), maintained by the Cardiology and Fetal Medicine of the Real Hospital Português. Current analysis assesses the functioning of BN architecture within a series of variables of cardiopathologies such as cyanosis, pulse and heart murmur and others. BN was efficient within the working environment. In fact, it is a study field with deep impact on the diagnosis of pediatric cardiopathologies with important potential use in medical education.

**KEY WORDS:** Bayesian network; pediatric cardiopathy; Diagnosis.

## INTRODUÇÃO

A medicina, em grande parte de sua história e evolução, foi fundamentada nas experiências de cada indivíduo, ou seja, não existia

um consenso ou sistematização para o diagnóstico de doenças. Consequentemente, profissionais com maior formação acadêmica e experiência tinham um desempenho superior. Outro fundamento importante neste sentido é o uso das teorias fisiopatológicas, estudo que procura entender os fenômenos que provocam alterações no organismo.

Por volta de 1972 surgiu um movimento chamado Medicina Baseada em Evidências (MBE), criado por Archie Cochrane. A MBE é baseada em vários segmentos, como Metodologia Científica, Estatística, Engenharia e Epidemiologia Clínica, dentre outros. Com a associação de técnicas de vários segmentos é possível avaliar e reduzir a incerteza na tomada de decisões médicas.

Na prática, a clínica do dia-a-dia e as decisões tomadas baseadas em evidências começam pela identificação dos problemas do paciente, pela construção de um quadro clínico, pelo levantamento dos recursos a serem utilizados, pela análise da qualidade das evidências e finalizam com a congregação disso no diagnóstico.

A ideia não é que cada profissional de saúde faça suas próprias sistematizações, haja vista que, para a grande maioria dos casos clínicos, já foi feito um parecer anteriormente e, assim sendo, as respostas já existem. Essas respostas são encontradas nos *guidelines*.

Os *guidelines* são “guias” geralmente construídos por grupos de especialistas conceituados e que devem ser utilizados para apoio a decisões clínicas específicas. Eles são baseados nas melhores evidências e pesquisas científicas e têm por objetivo uniformizar as práticas médicas, melhorar a qualidade e o controle do custo na tomada de decisão. Na ausência de evidências ou literatura, é aconselhado que a decisão tomada faça-se por conformidade entre profissionais.

Em paralelo à medicina, tem-se a evolução da Inteligência Artificial (IA). A IA pode ser conceituada como uma inteligência semelhante à humana, onde programas computacionais adotam conduta inteligente. São várias áreas de atuação da IA e uma delas é a de Sistemas Especialistas.

Esses sistemas simulam a decisão de um especialista em uma área específica. A área mais usual desses sistemas é a área da medicina, sendo muito comum o fato de o médico ter que avaliar um paciente através da ligação de múltiplos fatores.

É neste cenário que a Rede Bayesiana faz o elo entre a Medicina Baseada em Evidências e a Inteligência Artificial. Por se tratar de uma técnica para sistemas especialistas, ela é aplicada nos cálculos probabilísticos causais, ou seja, para descobrir o motivo ou razão. Portanto, esta técnica pode ser usada para descrever práticas médicas baseadas em evidências.

A partir desse contexto, definiu-se como objetivo geral deste trabalho a avaliação do funcionamento da Rede Bayesiana proposta, que é destinada a diagnosticar cardiopatias pediátricas. Esta avaliação será através da análise de casos de uso que constam no *guideline* proposto por Mourato, Moser e da Silva Mattos<sup>[14]</sup>, por meio da implementação da arquitetura e realização de testes.

## REDES BAYESIANAS

O objetivo desta seção é elucidar os conceitos sobre probabilidade, Redes Bayesianas e o Teorema de Bayes. Também se busca justificar o porquê de seu uso neste trabalho.

O foco clássico da probabilidade supõe que as probabilidades são intrínsecas à natureza física do mundo. Por exemplo, ao arremessar uma moeda os valores da probabilidade de que caia cara ou coroa são valores inerentes às propriedades físicas da moeda. Ante esta interpretação, as probabilidades são chamadas frequentistas e, com base em experimentos, pode-se aferir estas probabilidades<sup>[18]</sup>.

## TEOREMA DE BAYES

O teorema de Bayes é o coração da Rede Bayesiana, pois é nele que ela é fundamentada. O teorema calcula a probabilidade de um evento ocorrer, dado que outro ocorreu. Cada evento possui uma probabilidade previamente conhecida; elas vão mudando com o surgimento de novas evidências ou quando um evento dependente ocorre.

Ele pode ser demonstrado como uma divisão em diversos subconjuntos, que representam as probabilidades conhecidas dos eventos e suas ligações. Sua representação matemática é a seguinte<sup>[10]</sup>:

Probabilidade incondicional ou *a priori*:  $P(E)$  indica a probabilidade inicial de um sistema, ou a probabilidade não dependente de outro evento.

Probabilidade condicional:  $P(E|H)$  indica a probabilidade de acontecer um evento dado que um evento antecedente aconteceu.

Distribuição de probabilidade conjunta:  $P(E, H)$  indica a probabilidade de um evento levando em conta todos os eventos antecedentes.

Fórmula do teorema:  $P(H|E) = P(E|H) P(H) / P(E)$ . Esta equação do Teorema de Bayes é uma proposição do teorema da probabilidade total que possibilita a afirmação seguinte:  $Pr(E)$  e  $Pr(H)$  são as probabilidades *a priori* de  $E$  e  $H$ ;  $Pr(H|E)$  é a probabilidade *a posteriori* de  $H$  condicional  $E$ ;  $Pr(E|H)$  é probabilidade *a posteriori* de  $E$  condicional  $H$ .

## CONCEITO DE REDES BAYESIANAS

As Redes Bayesianas, de acordo com Lucas <sup>[11]</sup>, tornaram-se um grande meio para se representar o conhecimento incerto em sistemas especialistas.

Podem ser definidas como uma rede probabilística, representada por uma estrutura gráfica composta por relacionamentos entre nós e seus parâmetros. Cada nó representa uma variável aleatória; as ligações entre os nós são as arestas e representam as dependências probabilísticas entre as variáveis <sup>[5]</sup>.

Redes Bayesianas são modelos de representações do estudo, que podem lidar com o conhecimento incerto e incompleto do domínio englobado. Ela emprega o conhecimento do especialista e o imita computacionalmente. Assim consegue demonstrar as incertezas na forma de grafos acíclicos e direcionados como suas dependências probabilísticas entre os nós <sup>[6]</sup>.

## VANTAGENS DO USO DE REDES BAYESIANAS

Esta abordagem representa uma boa estratégia para lidar com problemas que tratam incertezas, onde conclusões não podem ser construídas apenas do conhecimento prévio a respeito do problema.

De acordo com Luna <sup>[12]</sup>, as redes bayesianas permitem analisar grandes quantidades de dados para

extrair conhecimentos úteis em tomada de decisões, controlar ou prever o comportamento de um sistema e diagnosticar as causas de um fenômeno. São utilizadas em vários domínios, como na saúde (diagnóstico e localização de genes), indústria (controle de autômatos e de robôs), computação e redes (agentes inteligentes), *marketing* (mineração de dados, gestão da relação com os clientes), finanças e gestão (tomada de decisões, gestão de conhecimento e risco).

Segundo Heckerman <sup>[9]</sup> existem inúmeras formas de representações para análise de dados, tais como: redes neurais artificiais, árvores de decisão e técnicas; como também: classificação, estimativa da densidade, regressão e agrupamento. No entanto, as Redes Bayesianas se diferenciam pela capacidade de manipular massas de dados por vezes incompletas e a habilidade de aprender partindo de relações casuais.

## APLICAÇÕES

Redes Bayesianas vêm sendo aplicadas em diferentes tipos de problemas, mas seu principal foco de origem foi e ainda é a área de diagnósticos médicos. Sua grande vantagem para tratar de problemas de decisões médicos, é que sua forma de resolução para este caso é semelhante ao raciocínio humano. A seguir são apresentadas algumas aplicações delas, desde a década de 1990.

Pathfinder, Heckerman (1990). Stanford – Sistema para diagnósticos de problemas nas glândulas linfáticas. O sistema trata mais de 60 enfermidades sob as probabilidades de mais de 100 causas (sintomas e resultados de testes médicos) <sup>[4]</sup>.

AutoClass, NASA's Ames Research Center (1998) - Sistema de exploração e aquisição de conhecimento espacial. Rede bayesiana que permite a interpolação automática de dados espaciais oriundos de diferentes observatórios e planetários espalhados pelo mundo <sup>[4]</sup>.

HEPAR2, Academia Polonês de Ciência, Warsaw, março (2003) – Modelo de probabilidades causais em medicina aplicada ao diagnóstico de doenças do fígado. Dissertação de Ph.D., Instituto de Biocibernética e Engenharia Biomédica.

CANCER, K. B. Korb, A. E. Nicholson. Bayesian Artificial Intelligence, 2nd edition, Section 2.2.2. CRC

Press (2010) – Modelo de probabilidades causais para diagnóstico de câncer.

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas pesquisas bibliográficas, que permitiram tomar conhecimento do que já foi publicado sobre o tema e assuntos semelhantes.

A partir daí, partimos para a definição das variáveis do banco de dados que podem ser classificadas como evidências no diagnóstico de cardiopatias pediátricas. Logo em seguida, fizemos a depuração dos dados do banco, ou seja, tratamento de registros com problemas como campo nulo e caracteres inválidos.

No passo seguinte, elaboramos várias propostas de arquitetura. Selecionamos a que melhor representava nossos objetivos e fizemos sua implementação utilizando a ferramenta Netica.

Por fim, para avaliar arquitetura, ela foi submetida a quatro casos de uso. Esses casos de uso serão feitos a partir de *guidelines* de uma determinada cardiopatia pediátrica e que é baseada em medicina por evidências. O que será feito é a representação destes na arquitetura da solução e a comparação dos resultados.

Para o levantamento das variáveis, construção e teste da arquitetura, foi consultado um médico especialista na área de cardiologia pediátrica, que atua na entidade Circulo do Coração de Pernambuco. O Circulo do Coração foi responsável pela disponibilização da base de dados utilizada para a construção e aprendizado da rede; esta base de dados foi gerada pelo atendimento de pacientes e conta com 5.636 registros. Os nomes dos pacientes não são mencionados em nenhum momento neste estudo. Número do Parecer CEP: 391.391, Data da Relatoria: 06/09/2013.

## RESULTADOS

Neste item será apresentada a arquitetura da solução e serão abordados quatro casos de uso baseados em *guidelines*, com intuito de avaliar os resultados obtidos.

## VARIÁVEIS

Como citado anteriormente na seção de metodologia desse artigo, previamente à construção da arquitetura foi feita a definição das variáveis relevantes ao objetivo. Abaixo apresentamos as variáveis.

Cianose: “O sintoma da cianose é uma coloração azulada ou púrpura que se manifesta na pele ou nas mucosas, sobretudo nas extremidades. Às vezes, a pessoa pode sentir dores, tonturas e até mesmo desmaiar, dependendo das suas causas. Podem estar presentes os sintomas da doença que tenha causado a cianose. Em outras ocasiões, ela é só um sinal físico e a pessoa nada sente.”<sup>[1]</sup>.

Sopro: “O sangue flui de modo contínuo e em uma única direção dentro das cavidades cardíacas, não produzindo nenhum barulho. O sopro cardíaco é um som que pode ser escutado quando há interferência neste fluxo, havendo turbulência do sangue dentro do coração. O sopro geralmente surge por problemas nas válvulas cardíacas, mas em crianças e em pessoas jovens saudáveis ele pode ser um achado inocente, sem nenhum significado clínico. O sopro costuma ser identificado durante o exame físico médico, através da ausculta cardíaca com o estetoscópio.”<sup>[13]</sup>.

B2: “A segunda bulha (B2) ocorre ao final da sístole ventricular, resultado das vibrações originárias do fechamento das valvas semilunares (fechamento das válvulas aórtica e pulmonar, respectivamente). A valva aórtica normalmente se fecha primeiro, seguida da valva pulmonar. O componente pulmonar da 2ª bulha cardíaca geralmente é atribuído ao fechamento e à tensão da válvula pulmonar.”<sup>[2]</sup>.

Pulsos: É um marcador de risco independente das medidas de pressão arterial e de outras variáveis clínicas<sup>[17]</sup>.

Motivo2: Motivo pelo qual o paciente deu entrada para atendimento.

Faixa de Idade: Faixa de idade em que o paciente está inserido.

Resultado Eco: Percentagem de diagnósticos normais e anormais.

Eco: Variável que apresenta o diagnóstico.

**ARQUITETURA PROPOSTA**

A figura 1 apresenta a arquitetura proposta construída na ferramenta Netica, cujos valores são preexistentes, ou seja, sem influência das variáveis.

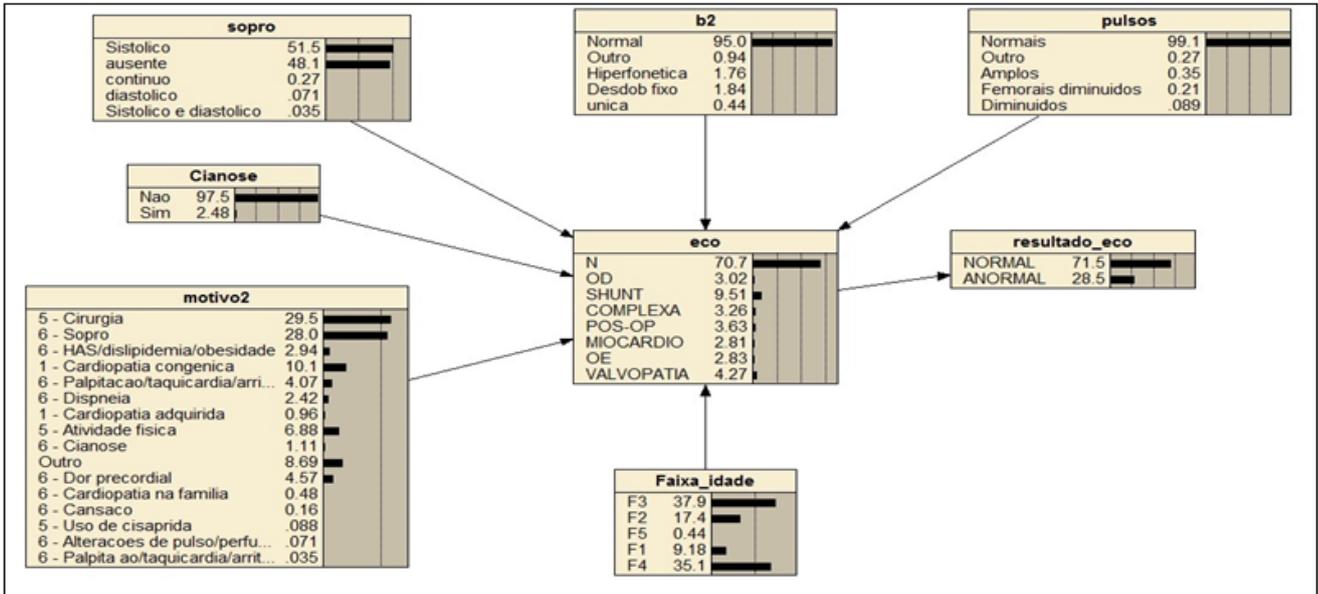


Figura 1. Arquitetura proposta

**AVALIAÇÃO E RESULTADOS**

Entretanto, a minoria dos casos (1% a 7% dos casos) [8, 20, 21] possui origem cardíaca, principalmente se não existirem outros achados ao exame físico.

Caso 1: Aproximadamente 44% dos adolescentes com dor torácica acreditam que a mesma é de origem cardíaca [16].

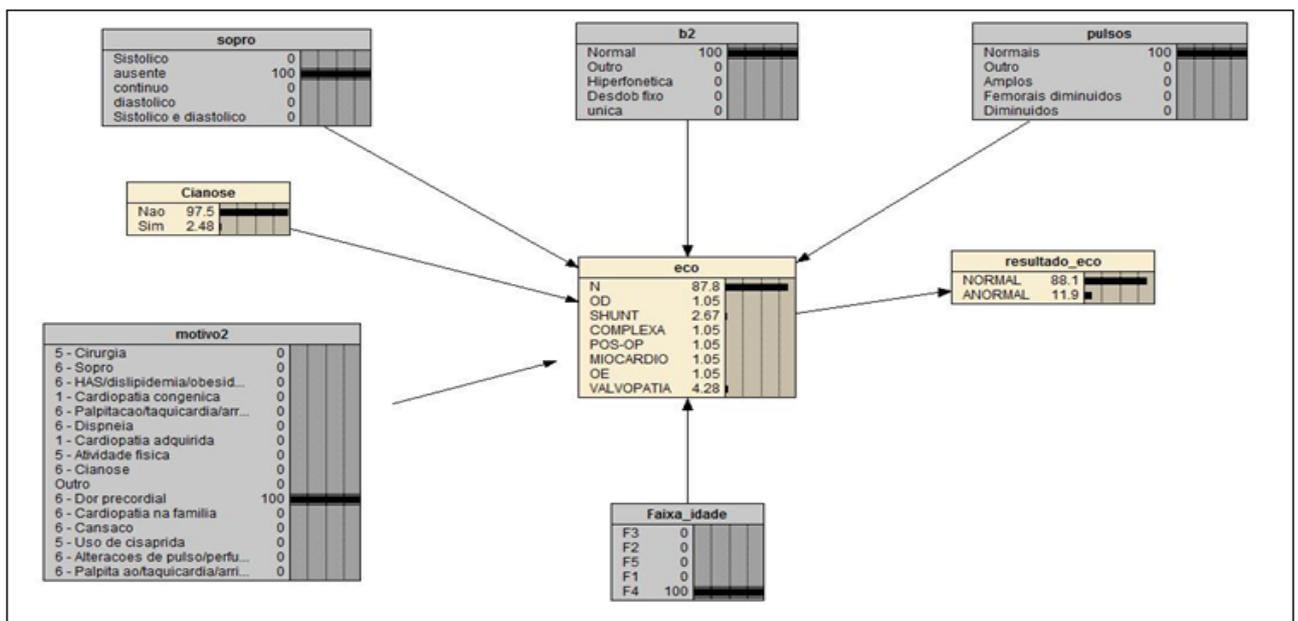


Figura 2. Caso 1

A figura 2 é a representação do caso 1 na arquitetura, que demonstra que 87,8% dos adolescentes com queixa de dor precordial tinham ecocardiograma normal quando outros aspectos do exame físico eram normais.

Caso 2: O sopro inocente é extremamente comum na infância, sendo geralmente excluído clinicamente [3]. Casos duvidosos, entretanto, devem ser excluídos com exames complementares. São sistólicos em sua maioria e sopros com outras características devem ser analisados [15].

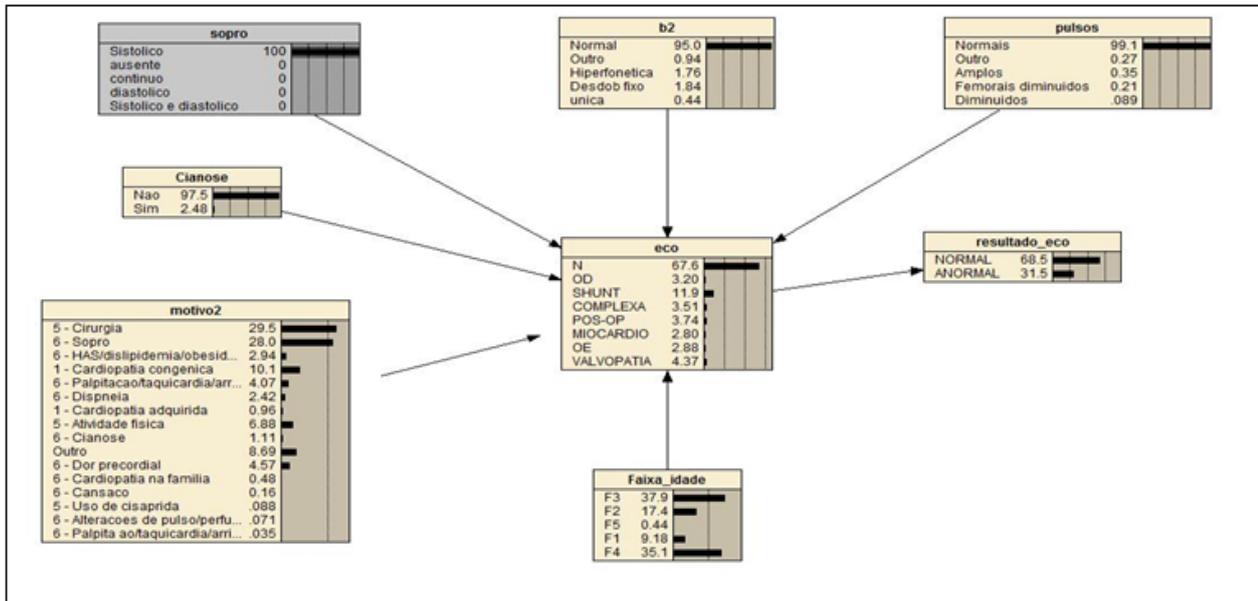


Figura 3. Caso 2

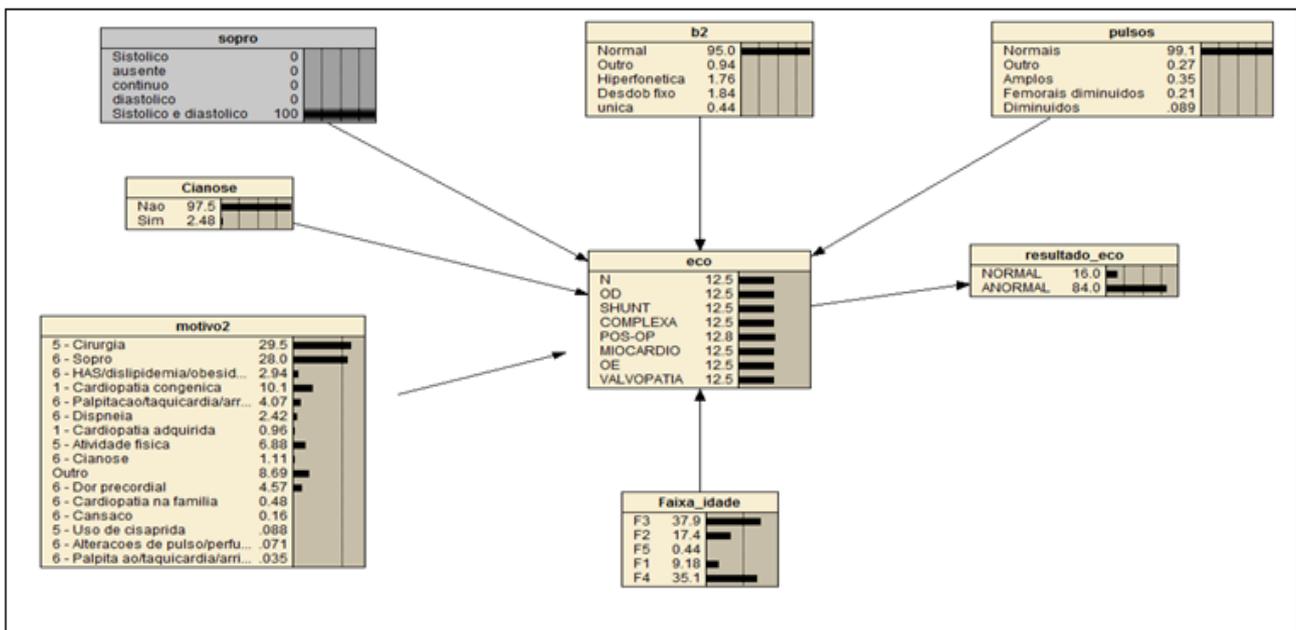


Figura 4. Caso 2

A figura 3 é a representação do caso 2 na arquitetura, que está coerente quando se aponta que a maioria dos casos com sopro sistólico teve ecocardiograma normal. A figura 4 é a representação do caso 2 na arquitetura, quando falamos em casos duvidosos, a proporção de ecocardiograma normal foi bem menor.

Caso 3: Boa parte das cardiopatias adquiridas na infância é devido à febre reumática [19]. Essa entidade costuma causar lesões nas valvas cardíacas (principalmente a mitral), podendo produzir sopros sistólicos. Usualmente atingem faixas pediátricas mais avançadas [7], como escolares e adolescentes.

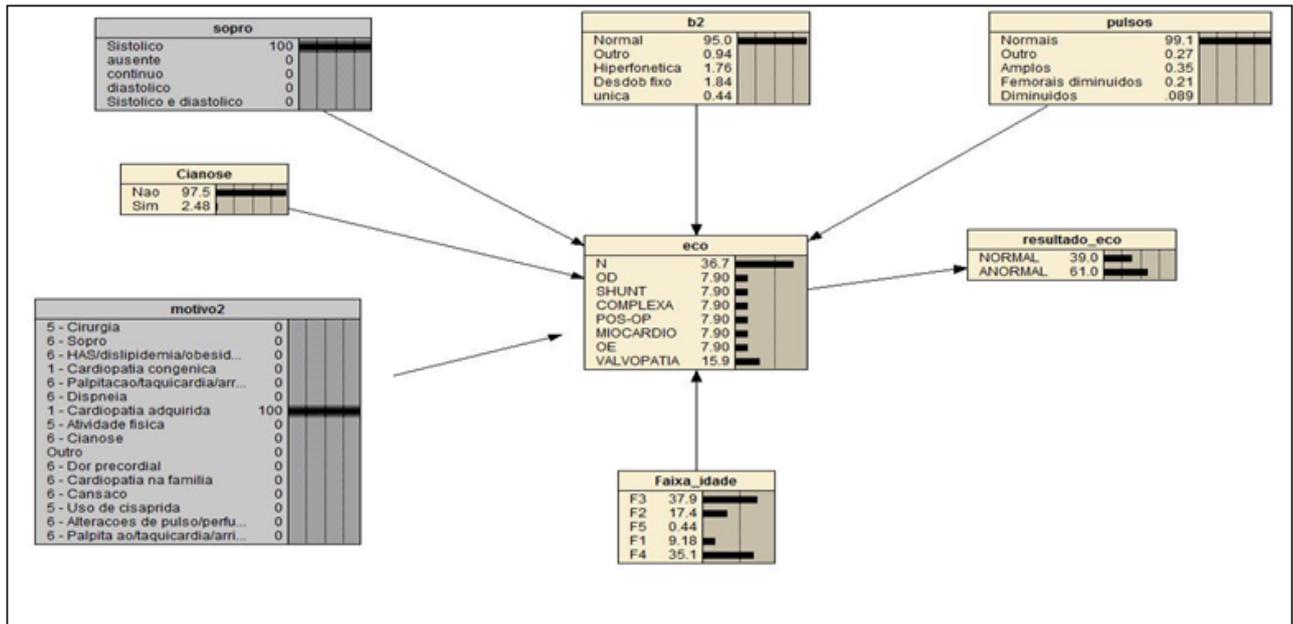


Figura 5. Caso 3

A figura 5 é a representação do caso 3 na arquitetura, onde se pode notar que, quando o motivo da consulta era cardiopatia adquirida e com presença de sopro sistólico, as valvopatias são o principal diagnóstico (eco) quando os ecocardiogramas normais são excluídos. Notar que as faixas etárias mais acometidas são F3 e F4, ou seja,

aquelas mais acometidas pela febre reumática. Caso 4: A presença de cianose no neonato deve sempre levantar a suspeita de cardiopatia congênita complexa. Usualmente a B2 se apresenta única e hiperfonética na transposição das grandes artérias (principal cardiopatia congênita) [3].

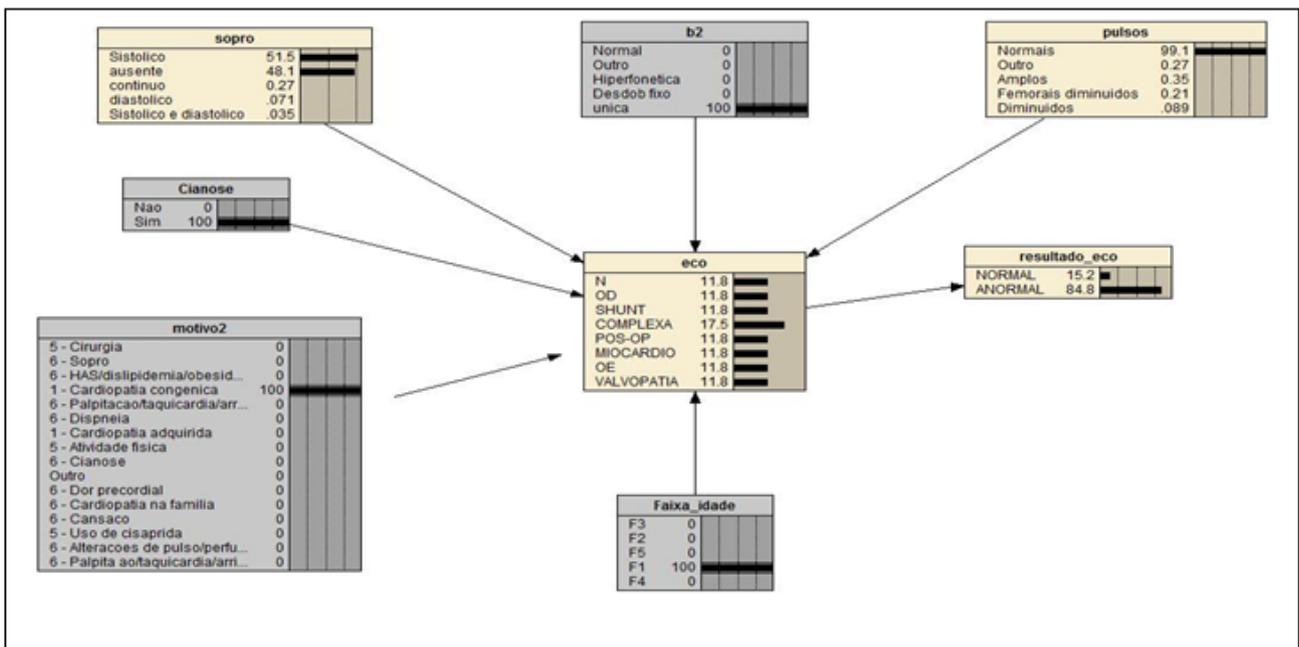


Figura 6. Caso 4

A figura 6 é a representação do caso 4 na arquitetura, na presença de cianose, faixa etária neonatal (F1) e com suspeita de cardiopatia congênita (motivo2), as cardiopatias complexas se tornam o principal diagnóstico, apesar de ser o grupo de menor frequência

dentre as cardiopatias congênitas.

## DISCUSSÃO

O quadro 1 é a representação da avaliação dos casos de uso. No intuito de facilitar o entendimento, foram criadas as colunas “Esperado”, que representa os resultados dos casos de uso seguindo o fluxo dos *guidelines* e “Resultado”, que demonstra os valores obtidos pela arquitetura proposta.

**Quadro 1.** Resultados esperados *versus* obtidos.

Caso de Uso	Esperado	Resultado
1	1 a 7% dos casos com origem cardíaca.	Sem origem cardíaca predomina com 87.8% dos casos.
2	Casos com tipo de sopro diferente do inocente, possibilidades com chances muito próximas.	Sem predominância.
3	Predominância das valvopatias.	Excluindo os casos normais, as valvopatias predominam com 15.9% e os demais possuem 7.9%.
4	Predominância das cardiopatias complexas.	Cardiopatias complexas predominam com 17.5% e os demais possuem 11.8%.

Ao se observar o quadro 1 percebe-se que a arquitetura proposta está coerente com o resultado desejado para todos os casos de uso a que foi submetida. No entanto, apesar da segurança que a arquitetura apresenta a Rede Bayesiana foi testada em universo restrito de casos, faz-se necessário sua aplicação em larga escala, circunstância alheia ao escopo desse trabalho, que objetiva demonstrar a sua real possibilidade de uso no campo médico.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o propósito de avaliar uma arquitetura de Redes Bayesianas construída, implementada e testada para diagnosticar cardiopatias pediátricas utilizando-se de dados de pacientes e quadros clínicos reais. Diante dos resultados positivos obtidos, vislumbra-se a construção de sólida base de conhecimento para

novas abordagens em pesquisas ou aplicações futuras.

O aprofundamento deste estudo e sua aplicação no ambiente real onde acontece a interação entre profissionais de saúde e paciente pode vir a ser um relevante sistema de apoio à decisão do médico no diagnóstico clínico e, por conseguinte, na melhora da prestação do serviço de saúde ao paciente. Ademais, as informações geradas a partir das RB criadas demonstram grande potencial de utilização na educação médica.

## REFERÊNCIAS

1. ABC.MED.BR. Cianose: o que é?. Disponível em: <<http://www.abc.med.br/p/pele-saudavel/297740/cianose+o+que+e.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2014.
2. Abreu D, Azevedo G, Almeida N, Júnior T. Fonocardiograma Computadorizado. *Communication Technology*; 2011
3. Amaral F, *et al.* Quando suspeitar de cardiopatia congênita no recém-nascido. *Medicina*; 2002.
4. Dutra I, Ligeiro R. Redes Bayesianas: o que são, para que servem, algoritmos e exemplos de aplicações. COPPE Sistemas – UFRJ.
5. Ben-Gal I. Bayesian Networks. In: Ruggeri F, Faltin F, Kenett R. *Encyclopedia of Statistics in Quality & Reliability*, Wiley & Sons; 2007.
6. Bettio K, Malucelli A, Tiboni G, Machado, RF. Análise da precisão de estimativas de projetos de software utilizando redes bayesianas, *Anais SBQS*; 2012. Fortaleza (CE). Disponível: [http://www.ppgia.pucpr.br/pesquisa/engsoft/lib/exe/fetch.php?media=estimativa\\_redebayeanas.pdf](http://www.ppgia.pucpr.br/pesquisa/engsoft/lib/exe/fetch.php?media=estimativa_redebayeanas.pdf).
7. Carvalho SM, *et al.* Apresentação e desfecho da febre reumática em uma série de casos. *Revista Brasileira de Reumatologia*. 2012; 52(2).
8. Cohn HE, Arnold LW. Chest pain in young patients in an office setting: cardiac diagnoses, outcomes, and test burden. *Clinical Pediatrics*. 2012; 51(9).
9. Heckerman D. A tutorial on learning with Bayesian

- networks. Innovations in Bayesian Networks. Springer Berlin Heidelberg; 2008.
10. Korb KB, Nicholson AE. Bayesian artificial intelligence. London: cRc Press. (2004).
  11. Lucas P. Bayesian networks in biomedicine and health-care. Artificial Intelligence in Medicine. 2014; 30(3).
  12. Luna JEO. Algoritmos EM para aprendizagem de redes Bayesianas a partir de dados incompletos. Dissertação. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; 2004.
  13. MDSAÚDE.CO. Sopro no coração causas, sintomas e tratamento. Disponível em: <<http://www.mdsaude.com/2010/04/sopro-coracao-sopro-cardiaco.html>>. Acesso em: 27 jul. 2014.
  14. Mourato FA, Moser LRDN, da Silva Mattos, S. Sistema interativo em ambiente móvel para o diagnóstico diferencial de cardiopatias congênitas. Journal of Health Informatics. 2013; 5(4).
  15. Oliveira R, Martins L. Sopro Cardíaco Pediátrico: estudo de série de casos. Revista Portuguesa de Medicina Geral e Familiar. 2013.
  16. Pantell RH, Goodman BW. Adolescent chest pain: a prospective study. Pediatrics. 1983; 71(6).
  17. Sá Cunha R. Rigidez arterial: conceito e implicações metodológicas. 147 Revista Brasileira de Hipertensão. 2004; 11(3).
  18. Schreiber JNC, Wazlawick R, Borges PSS. Uma proposta de navegação adaptativa na WEB utilizando Redes Bayesianas. Em: RIBIE2002, Vigo. 2002. Anais RIBIE2002. Vigo: Servicio de Publicación Teleco Vigo. 2002.
  19. Seckeler MD, Hoke TR. The worldwide epidemiology of acute rheumatic fever and rheumatic heart disease. Clinical epidemiology. 2011; 3.
  20. Svavarsdóttir AE. et al. Chest pain in family practice. Diagnosis and long-term outcome in a community setting. Canadian Family Physician. 1996; 42.
  21. Thull-Freedman J. Evaluation of chest pain in the pediatric patient. The Medical Clinics of North America. 2010; 94(2).

Recebido em: ?

Aceito em: 04 de novembro de 2014