

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

**KAROLINE DE ALMEIDA SCHMIDT
RENATA VALENTIM MOURA GOMES**

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

**KAROLINE DE ALMEIDA SCHMIDT
RENATA VALENTIM MOURA GOMES**

**DIAGNOSE DE MOTORES CICLO OTTO POR MEIO DE
REDES BAYESIANAS**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Cleber Willian gomes
Co orientadores: Prof. Orlando de Salvo Junior,
Prof. Fernando Garup Dalbo

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 27 DE NOVEMBRO DE 2018.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA
"DIAGNOSE DE MOTORES CICLO OTTO POR MEIO DE REDES
BAYESIANAS" DO ALUNO DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. CLEBER WILLIAM GOMES 

MEMBROS:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR PROF. FERNANDO GARUP DALBO 

ALUNOS:

KAROLINE DE ALMEIDA SCHMIDT RENATA VALENTIM DE MOURA GOMES 

S349d

Schmidt, Karoline de Almeida
Diagnose de motores Ciclo Otto por meio de redes Bayesianas /
Karoline de Almeida Schmidt, Renata Valentim Moura Gomes -
Santo André, 2018. – 69f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Cleber Willian Gomes

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Redes bayesiana. 4. Motores. 5.
Ciclo Otto. 6. Método de diagnostico. 7. Falhas. 8. Manutenção.
I. Gomes, Renata Valentim Moura. II. Diagnose de motores Ciclo
Otto por meio de redes Bayesianas.

621.389

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

Marthin Luther King

AGRADECIMENTOS

Para conseguirmos sucesso em algo que desejamos, é necessário muito mais que conhecimento, mas também vontade. Quando sentimos vontade e desejo para alcançar um sonho, ele se torna foco e parte da nossa vida. Para isso, é preciso ter fé, coragem e nunca desistir, ter pessoas que nos apoiam e nos incentivam a conquistar e atingir nossos objetivos é indispensável.

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, por ter nos mantido de pé durante toda a caminhada, aos nossos familiares, em especial nossos pais que nos ensinaram a ética e sempre foram exemplos a serem seguidos.

Agradecemos também ao nosso grande orientador Professor Cleber Willian Gomes, que por sua vez, nos mostrou o caminho a ser seguido e nos orientou a cada passo do nosso trabalho, para que assim pudéssemos realiza-lo com êxito.

Aos Co Orientadores e membros da banca, o professor Orlando de Salvo Junior e o professor Fernando Garup Dalbo, que contribuíram com o nosso trabalho através de sua capacidade e avaliando com críticas construtivas.

Não podemos deixar de agradecer também aos funcionários da instituição de ensino superior Fatec Santo André, que nos ajudou de forma direta e indiretamente para conclusão deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho será proposto um método de diagnóstico veicular por meio de redes Bayesianas, para verificar falhas em veículos com motores de Ciclo Otto. Através do método estatístico de Bayes, será possível auxiliar o usuário na detecção de falhas, deixando a tarefa o menos complexa, facilitando o entendimento e análise técnica. A forma de detectar falhas de um veículo por este método é baseado através do índice de falhas do motor que podem ser percebidos pelo próprio condutor, tais como vazamentos, ruídos, entre outros. Utilizaremos os conceitos de diagnóstico veicular visando esta tecnologia para facilitar a manutenção do automóvel sem muitos problemas. O objetivo deste trabalho é auxiliar no processo de diagnóstico veicular, onde utiliza-se o conhecimento a priori sobre os componentes do veículo, representado pelos nós R/1000 e diagnóstico prévio.

Palavra-chave: Rede Bayesiana. Motor Ciclo Otto. Diagnóstico veicular.

ABSTRACT

In this work, a vehicle diagnostic method will be proposed by means of Bayesian networks, to verify failures in vehicles with Otto Cycle engines. Through the statistical method of Bayes, it will be possible to assist the user in the detection of failures, leaving the task the least complex, facilitating the understanding and technical analysis. The way to detect vehicle failures by this method is based on the index of motor failures that can be perceived by the driver himself, such as leaks, noise, among others. We will use the concepts of vehicular diagnostics aimed at this technology to facilitate the maintenance of the car without many problems. The objective since work is to assist in the vehicle diagnostic process, where a priori knowledge about the components of the vehicle is used. represented by nodes R / 1000 and previous diagnosis.

Key words: Bayes Net. Motor Cycle Otto. Vehicle diagnostics.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE QUADROS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 TEMAS RELACIONADOS AO TRABALHO.....	17
2.1 Evolução Tecnológica dos motores Ciclo Otto.....	17
2.2 Evolução Tecnológica X Capacitação Técnica.....	21
2.3 Sistemas Especialistas.....	22
2.4 Sistemas especialistas aplicados ao diagnóstico veicular.....	24
2.4.1 Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “ On Board”	24
2.4.2 Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “ Off Board”	26
2.4.3 Sistemas analíticos disponibilizados em manuais técnicos	32
2.4.4 Redes Bayesianas	33
2.4.5 Modelo Noisy - Or	40
3. REDES BAYESIANAS PARA DIAGNÓSTICO VEICULAR (RBDV).....	42
3.1 Método proposto.....	42
3.2 Rede Bayesiana construída por meio do programa Nética.....	45
3.3 Dados a priori.....	48
3.2.1 Dados a priori: nó “R/1000”	48
3.3.2 Dados a priori: nó diagnóstico preliminar.....	48
3.4 A utilização do conceito probabilidade de ligação.....	50
3.5 Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo.....	52
4. TESTES DE VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA REDE BAYESIANA DE DIAGNÓSTICO VEICULAR (RBDV)	54

5.	CONCLUSÕES	63
6.	TRABALHOS FUTUROS.....	64
7.	APÊNDICE 1 TABELAS QUE COMPOEM A RBDV	65
8.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	68

Lista de Figuras

Figura 1 – Foto de Nikolaus August Otto	13
Figura 2 – Ciclo de trabalho de um motor Ciclo Otto	14
Figura 3 – Evolução dos motores	16
Figura 4 – Evolução tecnológica.....	20
Figura 5 – Evolução dos veículos automotivos	21
Figura 6 – Processo de Diagnostico e reparo	22
Figura 7 – Luzes indicadoras de DTCs (Na memória)	25
Figura 8 – Exemplo de um Código de falha decodificado	28
Figura 9 – Sistema de leitura de DTC do sistema OBD do veículo (Informação de diagnostico)	30
Figura 10 - Sistema de leitura de DTC, New Kaptor	31
Figura 11 – Imagens de funcionamento do New Kaptor	31
Figura 12 – Manual Técnico	32
Figura 13 – Única Ilustração conhecida de Thomas Bayes	33
Figura 14 – Elementos básicos da Teoria de Grafos	34
Figura 15 – Estrutura básica existente na Teoria de Grafos	35
Figura 16 – Exemplo de uma Rede Bayesiana	36
Figura 17 – Rede Bayesiana e probabilidades	38
Figura 18 – Exemplo de Redes Bayesianas com o software Nética	39
Figura 19 – Sequência de busca pelo defeito	43
Figura 20 – Fluxograma do passo a passo da busca pelo defeito	44
Figura 21 – Correlação entre os sistemas do veículo	46
Figura 22 – Estrutura geral da RBDV proposta	47
Figura 23 – Gráfico de probabilidade de os sistemas funcionarem sem nenhuma observação	56
Figura 24 – Gráfico de probabilidade de os sistemas funcionarem com a falha	57
Figura 25 – Gráfico de comparação dos sistemas com falha e sem falha	58
Figura 26 – Componentes do Sistema de Ignição	59
Figura 27 – Sistema de Ignição elaborado no Software Nética	60
Figura 28 – Sistema de Ignição elaborado no Software Nética com a falha	62

Lista de Quadros

Quadro 1 – Primeiro Caractere do Código de Falha	26
Quadro 2 – Segundo Caractere do Código de Falha	27
Quadro 3 – Terceiro caractere do Código de Falha	27
Quadro 4 – Número da DTC e sua descrição de falha	28
Quadro 5 – Exemplo de TPC Alarme	37
Quadro 6 – Quadro de probabilidade condicionais	41
Quadro 7 – Índice (R/1000) em termos de probabilidade de falha	49
Quadro 8 – Determinação da probabilidade de funcionamento	51
Quadro 9 – Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo	53
Quadro 10 – Quadro de explicação dos campos dos dados de entrada da RBDV	54
Quadro 11 – Entrada de Dados da RBDV	55
Quadro 12 – Quadro com resultados da probabilidade de funcionamento do sistema de ignição do motor na RBDV	61
Quadro 13 – Probabilidade de funcionamento dos sistemas	65
Quadro 14 – Quadro de combinações e probabilidades da variavel sistema de ignição	67

Lista de Abreviaturas

PMS	Ponto morto superior
PMI	Ponto morto inferior
S.E.	Sistemas Especialistas
OBD	On Board Diagnose
ECU	Electronic Control Unit
DTC	Diagnose Trouble Code
RBDV	Redes Bayesianas de diagnostico veicular
GND	Terra
TSI	Turbocharge Stratified Injection
PROCONVE	Programa de controle de emissões veiculares
CONAMA	Conselho nacional do meio ambiente
ABS	Anti-lock Braking System
GNV	Gas natural veicular
DAG	Gráfico acíclico dirigido

1. INTRODUÇÃO

O Motor de Ciclo Otto, também chamado de motor de combustão interna foi criado e patenteado por Nikolaus August Otto (1832–1891), por volta do ano de 1866, onde trabalha com os princípios da termodinâmica e com conceitos de compressão e expansão de fluidos, a fim de gerar força e movimento. (BRUNETTI, F. VOL.1)

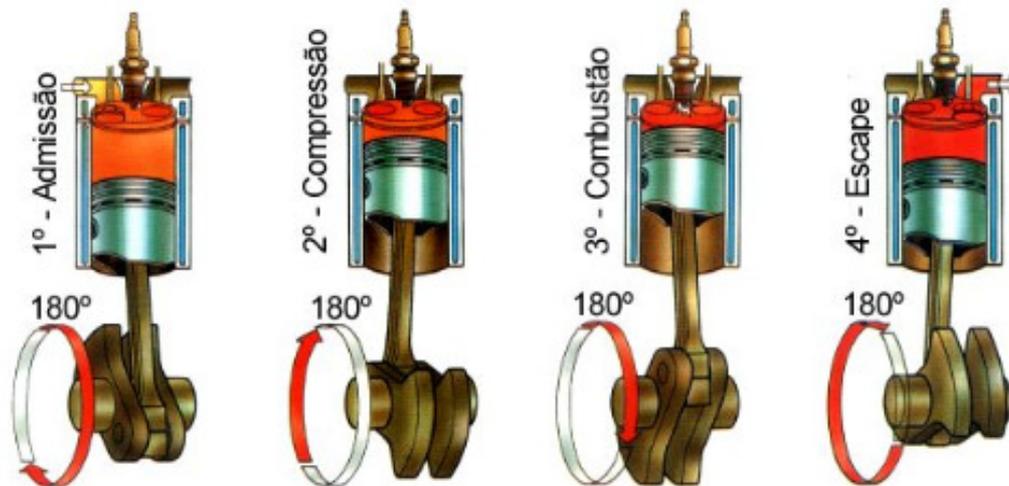
Figura 1, Foto de Nikolaus August Otto



Fonte, Lambert M. Surhone

Este tipo de motor funciona através do ciclo de quatro tempos:

Figura 2, Ciclo de trabalho de um motor Ciclo Otto.



Fonte, Brunetti, F.

1º Tempo do motor, Admissão: O pistão desloca-se do PMS ao PMI permitindo a entrada de ar na válvula de admissão, que se encontrara aberta. O cilindro é preenchido com a mistura ar/combustível, ou somente ar nos motores de injeção direta de combustível.

2º Tempo do motor, Compressão: É fechada a válvula de admissão e o pistão se desloca do PMI ao PMS fazendo a compressão da mistura ou apenas do ar.

3º Tempo do motor, Expansão: Nas proximidades do PMS, ocorre a faísca que provoca a ignição da mistura. A combustão provoca um grande aumento da pressão, o que permite “empurrar” o pistão para o PMI realizando o processo de expansão, que é o processo que realiza o trabalho positivo do motor.

4º Tempo do motor, Exaustão: Com a válvula de escape aberta, o pistão desloca-se do PMI ao PMS “empurrando” os gases queimados para fora do cilindro, para reiniciar o ciclo pelo tempo de admissão.

Desde sua invenção, o motor de combustão interna ciclo Otto foi um dos motores mais usado pela indústria automobilística. Com o passar dos anos o

motor ciclo Otto foi evoluindo com o investimento de diversas montadoras que criaram tecnologias.

Nas décadas de 60 e 70 foram produzidos veículos com vários tipos de motores, com grande capacidade volumétrica, com motores 8 cilindros. Naquela época não se tinha preocupação com emissão de poluentes, a sua única preocupação era em fazer motores potentes e mais duráveis.

No início da década de 80, com a crise do petróleo, cresceu a preocupação com o consumo devido à escassez e alto custo que a gasolina apresentava. Em vista disso surgiu um investimento para desenvolvimento dos motores movidos a etanol (álcool na época).

No início da década de 90 foram criadas as leis de emissões de poluentes devido ao aumento da frota de veículos

A criação do PROCONVE serviu de grande incentivo para a evolução dos motores, estipulando os limites máximos de emissões, funcionando por etapas com redução progressiva.

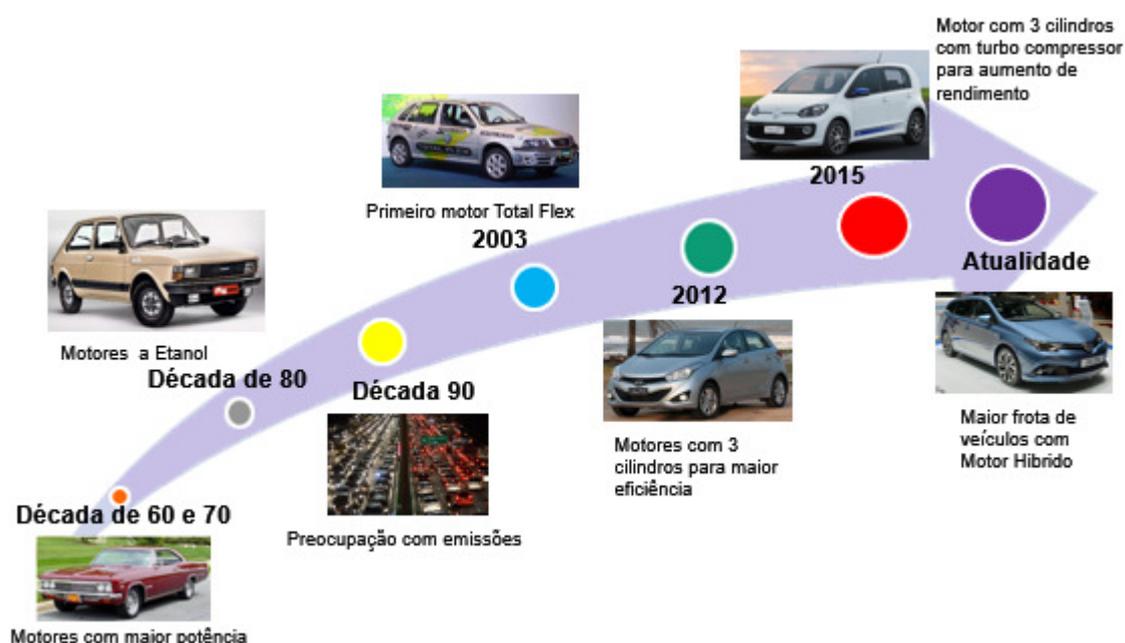
O desenvolvimento da tecnologia dos motores a etanol continuou e em 2003 a Volkswagen do Brasil iniciou a produção em série do primeiro veículo completamente Flex, podendo usar gasolina, etanol ou mesmo a mistura dos dois combustíveis em qualquer produção.

De acordo com o G1 em 2012 a Hyundai do Brasil lançou o HB20, veículo com motor de 3 cilindros, que em motores de pequenas capacidades cúbicas se torna mais eficiente do que o motor de 4 cilindros, sendo mais compacto e gerando menos peso e atritos no motor.

De acordo com o G1 em 2015 foi lançada a tecnologia TSI nos motores 3 cilindros que agrega um grande aumento de desempenho e potência com um baixo consumo de combustível.

Atualmente se teve o aumento da frota de motores híbridos, que possuem os dois motores, um a combustão e o outro elétrico, ele utiliza de energia cinética gerada pela queima do combustível, promovendo um gasto muito menor e gerando menos poluição. Porém essa tecnologia ainda está longe de se tornarem viáveis e populares no Brasil.

Figura 3, Evolução dos motores



Fonte, adaptado de Gavassa Lima; Revista Quadro rodas.

O objetivo deste trabalho é auxiliar o processo de diagnóstico veicular em motores de ciclo Otto, onde será utilizado o conhecimento a priori dos componentes do veículo. No capítulo 2 abordaremos a evolução dos motores Ciclo Otto, a capacitação técnica dos profissionais e os métodos de diagnóstico veicular existentes, além das Redes Bayesianas, que é o método estudado neste trabalho para o processo de diagnóstico veicular. No capítulo 3,

será demonstrado o método proposto neste trabalho, onde será detalhado como o sistema foi desenvolvido e suas principais características estruturais. No capítulo 4 é mostrado os resultados que foram obtidos neste trabalho.

2. TEMAS RELACIONADOS AO TRABALHO

Neste capítulo abordaremos de forma breve os principais assuntos relacionados ao trabalho.

2.1 Evolução tecnológica dos Motores Ciclo Otto

Os motores Ciclo Otto equipam a grande maioria dos automóveis de passeio atualmente, devido a sua eficiência e menor emissão de poluentes em comparação a outros tipos de motores.

O exemplo citado de aplicação do motor ciclo Otto remete a necessidade de que seu funcionamento seja confiável e que não comprometa a sua operação. A quebra ou um mal funcionamento do motor geram gastos muito altos e até mesmo superior ao preço de aquisição do veículo.

Além de sua confiabilidade, os fabricantes de Motores Ciclo Otto tendem a fazer seu aprimoramento dos veículos para o cumprimento das exigências de limites de emissões de poluentes.

Ao longo dos anos os Motores de Ciclo Otto sofreram diversas modificações com o uso de diversos sensores e atuadores controlados pelo sistema de Gerenciamento Eletrônico.

Em 1960 foi desenvolvido pela Bosch o primeiro sistema de injeção eletrônica, o sistema D-Jetronic, que foi apresentado pela primeira vez em 1968 no Volkswagen 1600 LE/TLE. Retirado de br.bosch-automotive.com.

Em 1983 a Chrysler lançou o modelo Chrysler Imperial que possuía inovações como o sistema de injeção de combustível e o painel eletrônico de instrumentos, que tentou usá-lo como uma vitrine de tecnologia e qualidade, infelizmente o sistema de injeção de combustível provou ser problemático e muitos carros foram adaptados em garantia com carburadores. Retirado de flatout.com.br

Em 1995 a Honda lançou o seu modelo CRX SI comercializado nos EUA como um modelo esporte econômico com o sistema de Gerenciamento do motor, sistema de freio ABS, sensores de segurança, climatização automática entre outros sistemas. O sistema de Gerenciamento Automotivo passou a ser usado em motores Ciclo Otto devido as leis de redução de poluentes. Retirado de motortrend.ca

Em 2004 os modelos E60 / E61 da BMW introduziram vários novos recursos eletrônicos para a série 5, incluindo iDrive, head-up display, limitador de velocidade, direção ativa e controle de voz. O E60 / 61 também foi o primeiro Série 5 a estar disponível com um motor a gasolina turbo alimentado, com transmissão automática de 6 velocidades e travagem regenerativa. Os novos recursos de segurança do E60 / E61 incluíam faróis adaptáveis, visão noturna, encostos de cabeça ativos, aviso de afastamento da faixa de rodagem e luzes de freio de emergência de alta intensidade. Retirado de thecarconnection.com

Em 2006 a Magneti Marelli desenvolveu um sistema revolucionário que permite que o veículo opere não só com gasolina ou etanol, mas também com GNV. Utilizando uma única unidade eletrônica de controle do motor, que gerencia o combustível líquido ou o combustível gasoso a ser utilizado, como também qual

dos dois combustíveis a ser utilizado em função do estilo de condução. Retirado de magnetimarelli.com

Em 2014 a Fiat lançou o Uno Evolution que foi o primeiro carro nacional com o Sistema Start Stop, que antes só equipava carros de faixas de preço superiores, e que pela primeira vez veio em um veículo nacional. O sistema que desliga o motor quando o carro para no trânsito, foi anunciado como responsável por reduzir em até 20% o consumo de combustível. Quando ativado, o sistema é responsável por desligar o motor assim que o câmbio é desengatado. No momento em que o motorista pisa novamente na embreagem, o propulsor volta a funcionar. Segundo a montadora, o processo de iniciar a combustão novamente leva 0,4 segundo. Retirado de revista quatro rodas

Atualmente a Volvo lançou o modelo XC90 com o Sistema de Direção Semiautônoma Pilot Assist, que trabalha para ajudar o condutor a permanecer dentro das faixas de rodagem e manter distância para o carro da frente de acordo com suas preferências. Retirado de volvocaars.com

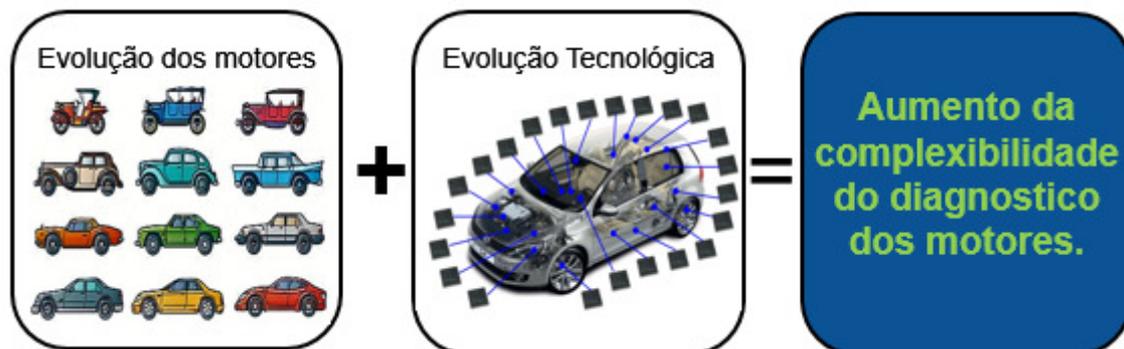
Figura 4, Evolução tecnológica.



Fonte, br.bosch-automotive.com, flatout.com.br, motortrend.ca, thecarconnection.com, magnetimarelli.com, revista quatro rodas, volvocaars.com.

Com o aumento da eletrônica embarcada nos veículos, se tem uma grande interação do motor com vários sensores e atuadores, e a possibilidade de fazer alterações nos parâmetros do motor de forma eletrônica tem sido um fator importante para o ganho e desempenho.

Figura 5, Evolução dos veículos automotivos.



Fonte, Pereira J. G.; carrosinfoco.com.br

2.2 Evolução tecnológica X Capacitação técnica

Com a grande dificuldade que os técnicos automotivos enfrentam para detectar o componente defeituoso do motor, e muitas vezes trabalham em cima dos efeitos e não sobre sua causa. O profissional técnico automotivo acaba trabalhando em cima de tentativas e erros, no qual acabam trocando componentes em busca de localizar o componente defeituoso. Esta metodologia por ser ineficaz e por gerar custos desnecessários ao veículo tem que ser abandonada.

A figura 6, mostra as fontes de informação disponíveis para o processo de diagnostico veicular, que podem gerar uma melhor qualidade do serviço de diagnostico veicular quando sendo utilizadas de forma correta, citados como principais fontes de informação de diagnostico: O sistema de autodiagnostico do veículo, com observações sobre o veículo, histórico de falhas do veículo, boletins de serviço e experiencia dos técnicos da manutenção.

Figura 6, Processo de Diagnostico e reparo.



Fonte, Adaptado de HILGER FORD FLAHERTY, 2004.

Obtendo as informações a cima, pode-se obter a solução do problema do veículo quando enviado para o diagnóstico. Entretanto pode ocorrer que o veículo seja entregue ao proprietário sem a obtenção do diagnóstico de falhas, tendo o provável retorno do veículo para o diagnóstico de falhas para a obtenção de seu resultado.

2.3 Sistemas Especialistas

Neste capítulo iremos abordar os “Sistemas especialistas” (S.E.), que também pode ser identificado como sendo “sistemas de apoio e decisão”, no qual descreve-se seus conceitos básicos, principais áreas de aplicação, exemplos de sistemas desenvolvidos e suas técnicas de construção.

Há diversas definições para um S.E. entre elas:

“São sistemas que, dado o conhecimento de domínio apropriado, podem equiparar ou superar o desempenho de especialistas humanos em tarefas estritamente definidas”. (RUSSELL e NORVIG, 1995, pág. 6).

Mesmo com a definição de S.E. ter a possibilidade de equipar ou superar o desenvolvimento de especialistas humanos, na verdade na maioria dos casos ele serve como um auxílio.

Outra definição:

“Sistemas especialistas são ferramentas computacionais cujo objetivo é simular as decisões que seriam tomadas por especialistas”. (COWELL, 1999, pág.5-23).

Nas definições de S.E. mostram a ideia de que um S.E. tem o objetivo de auxiliar o homem, sendo ele profissional da área ou não, para então tomar as devidas decisões.

Para que este sistema tenha um bom funcionamento, se tem que seguir algumas etapas:

1º Fase de Identificação: É feita a identificação dos participantes do projeto, recursos envolvidos, as características do problema e os objetivos a atingir.

2º Fase de Conceituação: É feita a definição da base conceitual do S.E. (os recursos básicos que serão necessários para descrever o problema).

3º Fase de Formalização: Envolve a expressão de conceitos e de relações-chave, identificando estruturas de armazenamento dos conceitos.

4º Fase de Implementação: Edição do conhecimento e a implementação dos programas que o processam.

5º Fase do teste e avaliação: O sistema deve ser testado e avaliado frequentemente desde a implementação de um protótipo inicial.

6º Fase de Revisão: A revisão é um processo contínuo que acompanha o desenvolvimento do sistema, onde visa alterar e melhorar os aspectos observados na fase de avaliação.

Os S.E. possuem variadas áreas de atuações dentre elas Administração, Advocacia, Agricultura, Computação, Eletrônica, Engenharia, Física e Medicina.

2.4 Sistemas Especialistas aplicados ao diagnóstico veicular

Nesta seção iremos abordar os principais sistemas de diagnóstico veicular, conhecido no mercado como scanners automotivos os quais dividimos em três grupos:

- 1º Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “On Board”;
- 2º Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “Off Board”;
- 3º Sistemas analíticos disponibilizados principalmente em manuais técnicos de manutenção;

2.4.1 Sistemas Eletrônicos de leitura de códigos de falhas “On Board”

Hoje em dia a grande maioria dos veículos possuem controle automotivo de injeção de combustível, transmissão automática, freio ABS, e possuem também diversos sensores e atuadores, que são componentes controlados pela ECU. Além de funções de controle, os sistemas de controle moderno possuem diversas funções relacionadas ao diagnóstico de falhas que ocorrem nos seus próprios dispositivos e que comprometem a execução dos processos por eles gerenciados. O conjunto destas funções dedicados ao diagnóstico de falhas se dão pelo sistema OBD. Que atualmente representam 50% de todos os softwares presentes no sistema de controle.

O aumento significativo dos sistemas diagnósticos embarcados se dá devido ao aumento das leis ambientais que regulamentam a quantidade de poluentes emitidos pelos veículos.

A forma que o sistema OBD interage com o condutor é um sinal de alerta, quando se recebe a informação no painel de instrumentos ele tem a possibilidade de evitar maiores danos e custos ao veículo, tendo que parar em um lugar seguro para que seja possível fazer a detecção do mal funcionamento.

Figura 7, Luzes indicadoras de DTCs (na memória).



Fonte, <https://motor1.uol.com.br>

A seguir apresentaremos o segundo método de diagnóstico, o sistema “Off Board”, que é o método de diagnóstico que se enquadra no método proposto neste trabalho, o RBDV.

2.4.2 Sistemas Eletrônicos de leitura de código de falhas 'Off Board'

Conforme mencionado anteriormente o aviso do sistema OBD muitas vezes não é o suficiente para obter a detecção da falha, por não informar com precisão a origem da falha.

Com isso é muito importante levar o veículo até um centro de reparo automotivo para que assim possa fazer o uso do sistema de diagnóstico Off Board, que realizam a leitura de parâmetros da ECU o veículo em tempo real, e a leitura dos códigos de falha, os chamados DTCs (Diagnose Trouble Code).

Segue alguns exemplos de DTCs:

Os códigos de diagnóstico de falhas são definidos da seguinte forma, o primeiro caractere determina a qual sistema se refere a falha.

Quadro 1, Primeiro Caractere do Código de Falha

Valor	Valor Binário	Significado
P	00	Motor (Powertrain)
C	01	Chassi (Chassis)
B	10	Carroceria (Body)
U	11	Rede (Network)

Fonte, Adaptado de BELO, 2003

O segundo caractere indica a entidade responsável pela criação do código.

Quadro 2, Segundo Caractere do Código de falha, sobre powertrain (P)

Valor	Significado
0	ISO / SAE
1	Fabricante do veículo
2	ISO / SAE
3	ISO / SAE

Fonte, Adaptado de BELO, 2003

O terceiro dígito se refere a um subgrupo do primeiro código.

Quadro 3, Terceiro Caractere do Código de Falha, sobre powertrain (P)

Valor	Significado
0	Medição de ar e combustível e controle de emissões
1	Medição de ar e combustível
2	Medição de ar e combustível
3	Sistema de ignição e falha de combustão
4	Controles auxiliares de emissões
5	Velocidade do veículo, controle de ML e entradas auxiliares
6	Computador e saídas auxiliares
7	Transmissão
8 e 9	Transmissão

Fonte, Adaptado de (BELO, 2003)

A figura a seguir apresenta um exemplo de um código de falha decodificado (Código B1234):

Figura 8, Exemplo de um Código de falha decodificado

DTC byte 1								DTC byte 0							
\$9				\$2				\$3				\$4			
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0
B		1		2				3				4			

Fonte, Adaptado de ISSO, 2005

O quadro a seguir apresenta exemplos de DTCs.

Quadro 4, Número da DTC e sua descrição de falha.

Número da DTC	Descrição da falha
B3806	Sistema de comutação do farol – curto para terra (GND)
B3793	Sistema de comutação do limpador de para-brisa – curto para terra (GND)
B2610	Entrada do reostato do painel – resistência muito alta
B3045	Imobilizador do motor – curto para terra (GND)
B2555	Iluminação interna – curto para terra (GND)
B3135	Relé de travamento da porta – contato “colado”
U2103	Erro em módulo eletrônico conectado ao barramento de baixa velocidade
U2105	Perda de comunicação com módulo de controle do motor (ECU)

Os sistemas “Off Board” de leitura de código de falhas são em forma de scanners de leitura dedicados e restritos a leitura das DTCs, ou por softwares instalados em computadores, que além de efetuarem a leitura do DTC ele também efetua a gravação dos valores registrados pelos sensores instalados nos veículos.

Exemplos de sistemas “Off Board” (scanners automotivos).

Kaptor.com V3s

O Kaptor V3s possui a tecnologia OBD Master que permite trabalhar somente com um cabo OBD, além da diminuição do número de cabos, evita a conexão indevida e falhas de comunicação com o veículo.

É reconhecido no mercado de reparação como o equipamento que faz o que o mecânico precisa de um jeito rápido e prático. Ele se demonstra eficiente pela quantidade de recursos disponíveis. A disponibilidade de recursos avançados, antes somente encontrados em scanners originais, vem surpreendendo cada vez mais os usuários.

Apto a diagnosticar os modernos sistemas de freios ABS e de airbag que são obrigatórios nos veículos novos brasileiros, o Kaptor vai sempre além e não para por aí! O Kaptor V3S é o scanner mais comentado do mercado para serviços em câmbios automatizados, como I-motion e Dualogic.

O Kaptor V3S oferece um diagnóstico com muita qualidade e precisão para automóveis, pick-ups e veículos comerciais leves (vans). Começando pela injeção eletrônica e passando por muitos outros sistemas eletrônicos embarcados nos veículos, é um scanner totalmente preparado para testar as mais modernas tecnologias automotivas do momento.

Figura 9, Sistema de leitura de DTC do sistema OBD do veículo (informações de diagnóstico).



Fonte, Alfatest.

Outro exemplo de scanner automotivo.

O New Kaptor 2

O New Kaptor 2 é um moderno scanner para diagnóstico de automóveis, vans e utilitários, que realiza diagnósticos nos sistemas de injeção eletrônica, ABS, airbag, immobilizador e outros sistemas embarcados, através de uma plataforma tablet de última geração. O gerenciamento da operação do New Kaptor 2 é realizado pelo novo software Diag PC 3, ele integra as funções de diagnóstico e de sistema de informações, permitindo uma rápida e fácil visualização dos códigos de falhas, parâmetros, gráficos, esquemas elétricos e outras informações e funções importantes para o diagnóstico e reparo dos veículos.

Figura 10, Sistema de leitura da DTC, New Kaptor.



Fonte, alfatest.

O programa conforme exemplo demonstrado na figura (Figura 10) permite diversos tipos de leitura, que permite uma maior possibilidade de encontrar o defeito.

Figura 11, Imagem de funcionamento do New Kaptor.



Fonte, alfatest.com

4.3 Sistemas analíticos disponibilizados principalmente em manuais técnicos de manutenção

Os fabricantes de componentes dos motores de Ciclo Otto, disponibilizam de manuais técnicos que relacionam a falha aos sistemas mais prováveis de se ocorrer. Um exemplo deste modelo é o manual do fabricante de componentes do motor (Mahle, 2015).

Figura 12, Manual Técnico



Fonte, mahle-aftermarket.com

A seguir será descrito o Teorema de Redes Bayesianas que será utilizado no processo de diagnóstico veicular.

2.5 Redes Bayesianas

Thomas Bayes (1702-1761) foi matemático e reverendo da igreja presbiteriana e imortalizado por formular um importante teorema de probabilidade, denominada Estatística Bayesiana. (Retirado de history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Bayes).

Figura 13, Única Ilustração conhecida de Thomas Bayes.



Fonte, <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk>

O teorema de Bayes é uma junção da probabilidade inicial, $P(A)$ com a probabilidade a posteriori $P(A|B)$, ou seja, atualizaremos a probabilidade inicial.

“Redes Bayesianas são um método matemático estatístico que utiliza grafos acíclicos para representar as dependências entre variáveis em um modelo probabilístico. Em outras palavras Redes Bayesianas são representações compactadas de tabelas de conjunto de probabilidade de domínios.” (CHARNIAK, 1991, pág. 50-63), (RUSSELL E NORVIG, 1995, pág. 5).

Uma Rede Bayesiana é uma representação gráfica de variáveis e suas relações para um problema específico, tal representação é comumente chamada de grafo, sendo este um elemento fundamental da rede.

O estudo destes grafos é realizado a partir do ramo matemático denominado Teoria dos Grafos onde diz respeito ao estudo das relações de seus elementos, os quais são comumente chamados de nós e arcos. Os nós, são os elementos principais, nos quais representam as variáveis aleatórias no problema e são

representados por círculos. Os arcos são setas que representam a relação de dependência entre um nó e outro, ou seja, representa a dependência probabilística entre duas variáveis.

Esses elementos podem ser vistos na figura 13.

Figura 14, Elementos básicos da Teoria de Grafos.



Fonte, Anderson Luiz Ara-Souza (2010).

A teoria de Redes Bayesianas é construída levando em consideração os grafos relacionados, conectados e acíclicos, sendo referenciado pela sigla DAG (gráfico acíclico dirigido).

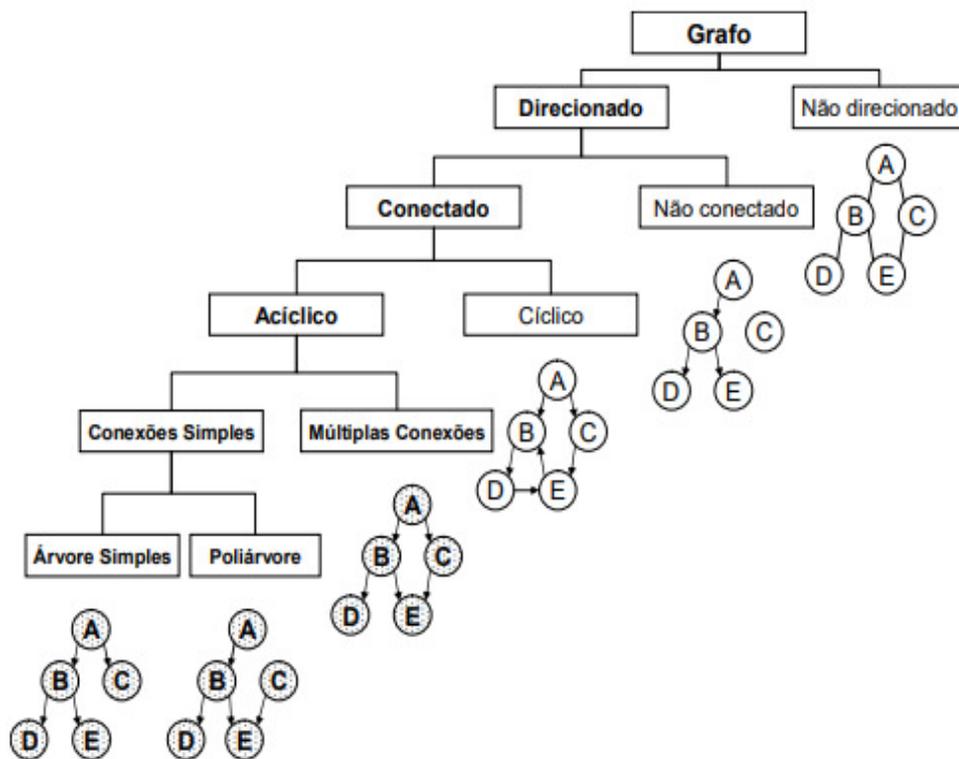
O termo “direcionado” é referente a presença de direção dos arcos, o termo “conectado” é usado para designar que todos os nós estão conectados à rede, e o termo “acíclico” é referente a probabilidade de não retorno para um nó após seguida a direção dos arcos.

Na figura (Figura 14), nota-se que as Redes Bayesianas se envolvem apenas em apenas alguns tipos de estruturas básicas: a estrutura de conexões simples, leva em consideração a estrutura de árvore simples e poli árvore, e a estrutura de múltiplas conexões.

Nas estruturas de conexões simples é usada a regra geral de que existe apenas um caminho ligando uma variável a outra, independentemente de sua direção. Com isso entendemos que nas estruturas de múltiplas conexões se tem mais possíveis caminhos que ligam uma variável a outra, independentemente de sua direção.

A subdivisão das estruturas simples se dá pelo número de nós originados na rede, ou seja, os nós que não possuem nenhum arco chegando, apenas saindo. Com isso podemos perceber que as estruturas de árvores simples possuem apenas uma variável que origina a rede (variável A), e as estruturas poli árvore possuem duas (ou mais) variáveis que se origina a rede (variáveis A e C).

Figura 15, Estrutura básica existente na Teoria de Grafos.



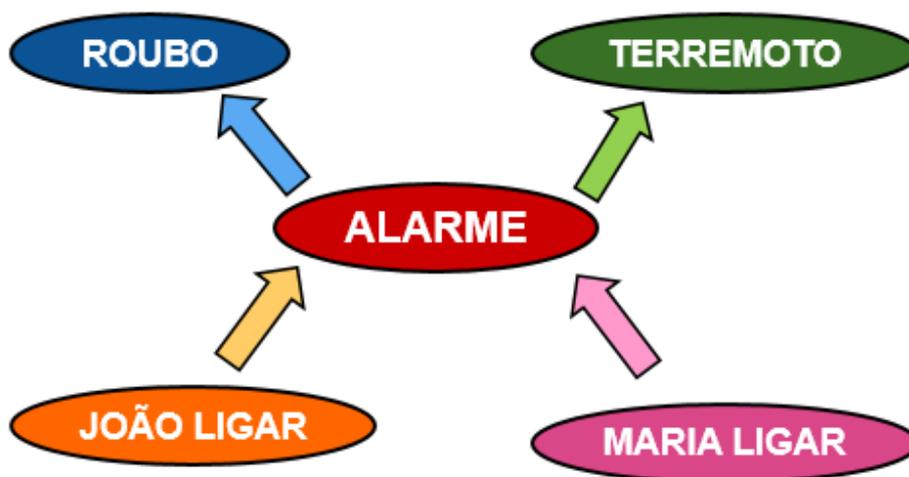
Fonte, Anderson Luiz Ara-Souza (2010).

Para demonstrar como é uma estrutura de Redes Bayesianas, apresenta-se um exemplo desenvolvido por Judea Pearl (PEARL, 2000):

Em uma cidade em que a ocorrência de terremotos é comum há a preocupação com assaltos a residências ao sair para trabalhar, para inibir os ladrões instala-se um alarme que é acionado quando há percepção de movimento dentro da casa. Devido à sensibilidade do equipamento instalado, este alarme também é acionado no evento de pequenos terremotos. Porém, a casa em que foi instalado o alarme possui dois vizinhos, João e Maria, os quais prometeram avisar o dono por telefone no caso de o alarme disparar. João sempre liga quando ouve o alarme e algumas vezes confundem o alarme com o telefone, e liga nestes casos. Maria gosta de ouvir música de forma intensa e ruidosa e em algumas ocasiões não escuta o alarme. Esta situação descrita é representada por uma rede Bayesiana.

Neste exemplo é possível identificar a presença de nós: Ocorrência de Roubos, Terremotos, Alarme, Ligações de João e Maria, a rede não possui nós indicando que Maria está ouvindo música, ou que o telefone está tocando e atrapalhando o entendimento de João, pois esses fatos ficam implícitos, associados a incertezas relacionada pelos arcos, conforme a Figura 15.

Figura 16, Exemplo de uma Rede Bayesiana.



Fonte, Judea Pearl (2000).

Segundo RUSSELL (1995), uma vez definida a topologia, é necessário definir-se a tabela de probabilidades condicionais (TPC) para cada nó. Cada linha na tabela contém a probabilidade condicional para cada caso condicional dos nós pais. Um caso condicional é possível uma combinação dos valores para os nós pais.

Quadro 5, Exemplo de TPC Alarme.

Roubo	Terremoto	P (Alarme, Assalto e Terremoto)	
		Verdadeiro	Falso
Verdadeiro	Verdadeiro	99	1
Verdadeiro	Falso	98	2
Falso	Verdadeiro	40	60
Falso	Falso	1	99

Fonte, Autor

A figura 15 é representada por uma Rede Bayesiana típica a qual podemos notar as variáveis, arcos e tabelas de probabilidades condicionais.

A versão mais simples desse teorema é dada pela Fórmula 1.

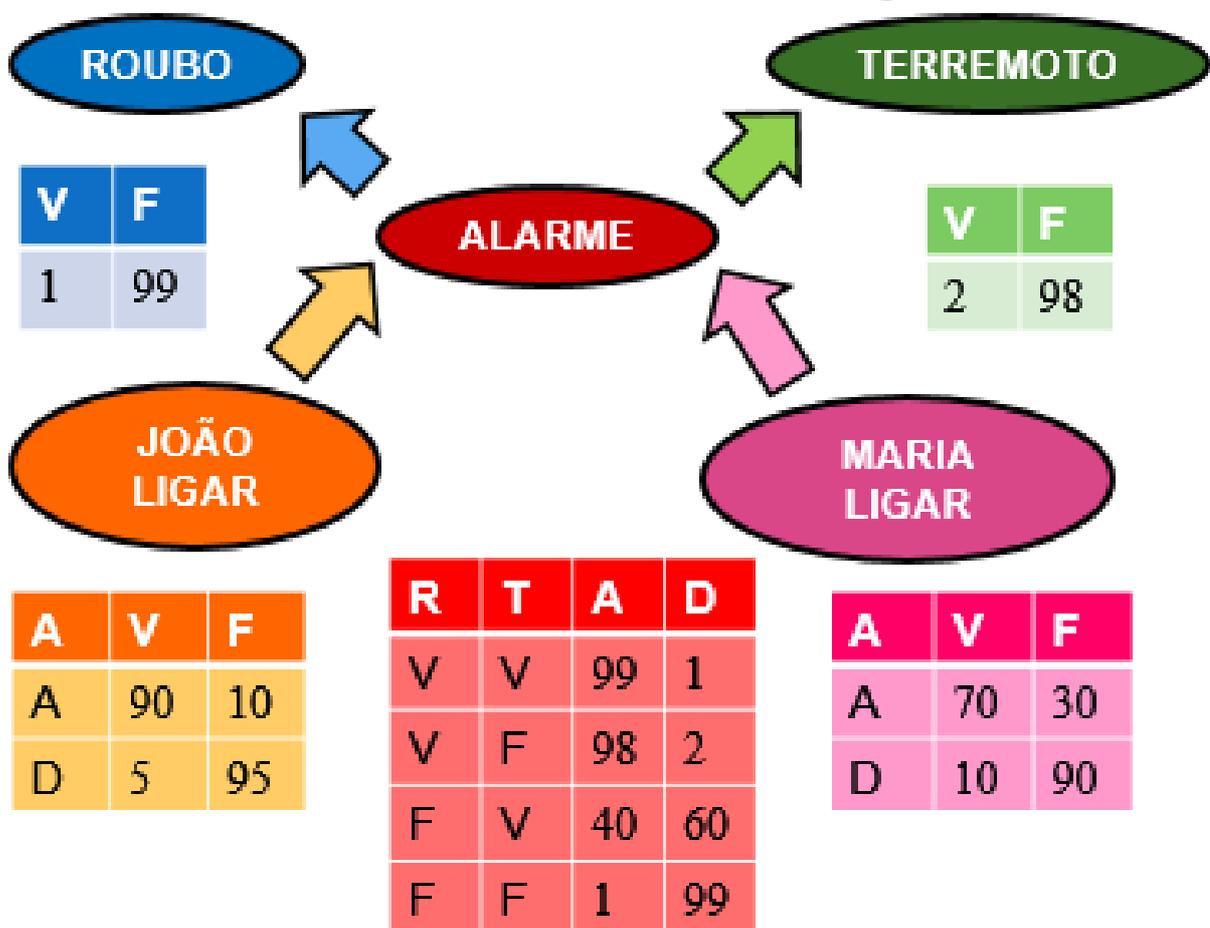
$$P(A | B) = P(A) \times P(B | A) \div P(B)$$

Fonte, Wilton de O. Bussab e Pedro A. Morettin (2013).

As representações gráficas das Redes Bayesianas ajudam no entendimento das dependências entre os nós, onde é de suma importância o ponto de vista matemático para o cálculo das probabilidades condicionais, quanto para a identificação visual dos nós.

Na figura (Figura 16), pode-se constatar que João liga independente de Maria ligar e vice-versa, além do fato deles ligarem estar relacionado ao evento “alarme tocar”. João e Maria ligam independente de um roubo ou terremoto, por confundirem o alarme com o telefone. O alarme pode ser acionado por um ou dois motivos, ou ambos simultaneamente.

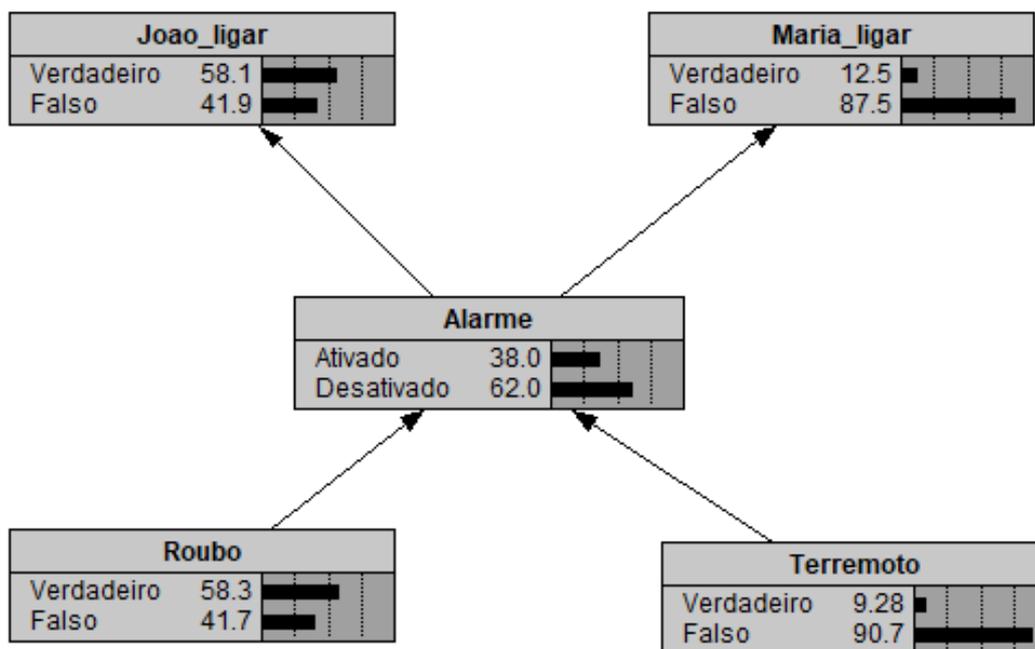
Figura 17, Rede Bayesiana e probabilidades.



Fonte, Adaptado de Judea Pearl (2000).

A figura (Figura17), demonstra um exemplo de aplicação do domínio em questão. O exemplo foi gerado utilizando o programa Nética, e os dados utilizados para alimentar a rede são fictícios, tendo apenas a finalidade de demonstrar as informações na rede Bayesiana criada.

Figura 18, Exemplo de Redes Bayesianas com o software Nética.



Fonte, Autor

A metodologia da Rede Bayesiana se mostrou adequada para ser usada em atividades de diagnóstico veicular. Quando se faz o diagnóstico de problemas no veículo, em muitos casos se encontra situações de incerteza, devido à falta de observação dos componentes do sistema estudado. Uma forma de resolver esse problema é agir baseado na probabilidade de falha dos componentes e seus modos falhas.

O diagnóstico da falha se encerra com a constatação de mal funcionamento do componente, sendo feita esta verificação de forma particular por cada fabricante. Essas análises muitas vezes são complexas e exigem um bom conhecimento técnico de mecânica/ eletrônica.

2.4 Modelo Noisy-Or

A aplicação prática da rede Bayesiana se tornou uma grande dificuldade devido à grande quantidade de probabilidades necessárias para a construção de uma rede.

Para solucionar a necessidade de preenchimento das probabilidades aplicamos a metodologia Noisy-Or para calcular as probabilidades de falha dos componentes e sistemas do veículo.

O modelo Noisy-Or permite o cálculo com a restrição de que os nós pais sejam independentes entre si. O nó em que é aplicado o modelo Noisy-Or deve ser do tipo binário, isto é, possui somente dois estados, um estado representado verdadeiro e outro falso.

Um nó X com k estados, o número de probabilidades a serem especificadas é

$$N^{\circ} \text{ de elementos da tabela } (X) = k * \prod_{pa(x)} n \text{ estados } pa(X).$$

A representação da função Noisy-Or é representada por:

$$p_i = p(X = V \mid p_i = V, \{Y_j = F\}_{j=1, j \neq i}).$$

Considera-se V para variáveis do tipo verdadeiro e F para variáveis do tipo falsa, $\{X=V\}$ e $\{Y_j=F\}$ para $J \neq i$.

Considerando:

$$X = (Y_1 \vee Y_2 \dots \vee Y_n);$$

As probabilidades P_i são conhecidas como probabilidades de ligação e o valor da probabilidade conjunta é expresso pela função:

$$p = (X = V \mid Y_1, \dots, Y_n) = 1 - \prod (1 - P_i).$$

A seguir temos um exemplo do método Noisy-Or, que mostra a probabilidade de um paciente não ter febre devido a resfriado, gripe e malária.

Supondo as seguintes probabilidades:

- $P(\neg\text{febre} \mid \text{resfriado}, \neg\text{gripe}, \neg\text{malária}) = 0.6$
- $P(\neg\text{febre} \mid \neg\text{resfriado}, \text{gripe}, \neg\text{malária}) = 0.2$
- $P(\neg\text{febre} \mid \neg\text{resfriado}, \neg\text{gripe}, \text{malária}) = 0.1$

Utilizando o modelo Noisy-Or, construímos a tabela de probabilidade condicional a partir das probabilidades $P(D \mid R_i)$ para cada nó R_i , onde D é a probabilidade de febre e R são as evidências.

Onde se encontra o valor “V” se multiplica a probabilidade e o resultado é usado na construção da RBDV.

Quadro 6, Quadro de probabilidade condicionais

Resfriado	Gripe	Malária	P(Febre)	P(\neg Febre)
F	F	F	0.0	1.0
F	F	V	0.9	0.1
F	V	F	0.8	0.2
F	V	V	0.98	0.02 = 0.2 x 0.1
V	F	F	0.4	0.6
V	F	V	0.94	0.06 = 0.6 x 0.1
V	V	F	0.88	0.12 = 0.6 x 0.2
V	V	V	0.988	0.012 = 0.6 x 0.2 x 0.1

Fonte, RUSSEL e NORVIG 1995

No próximo capítulo iremos demonstrar o método de diagnóstico veicular proposto neste trabalho.

3. REDES BAYESIANAS PARA O DIAGNÓSTICO VEICULAR (RBDV)

Neste capítulo descrevemos o método proposto neste trabalho, detalhando as principais características do sistema RBDV.

3.1 Método proposto

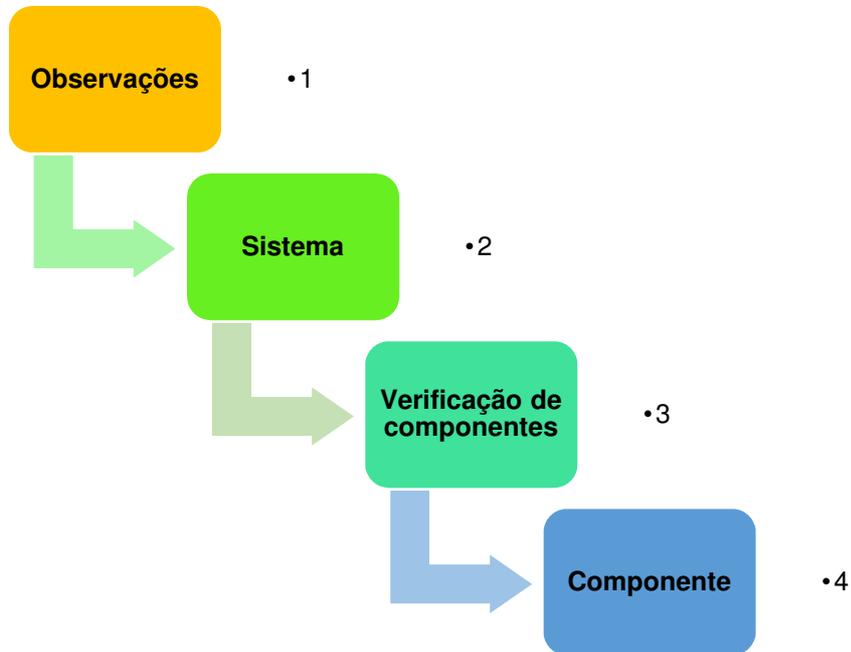
Mesmo existindo diversos tipos de diagnóstico veicular como visto no capítulo 2, neste trabalho propomos um método onde é utilizado o conhecimento a priori, que se refere as probabilidades dadas sem o conhecimento de qualquer outro evento

A RBDV tem como proposta diminuir a ocorrência das trocas aleatórias de componentes do veículo (em busca de resolver o problema), aumentando consideravelmente as chances de identificar a causa raiz do defeito.

Na figura (Figura 18) é demonstrado a proposta deste trabalho, na sequência de busca pelo defeito:

1. Verificação com o condutor sobre vazamentos, ruídos, vibrações, dentre outras possibilidades que ajudem no diagnóstico:
2. Com o recebimento das informações, é verificado no sistema RBDV quais são os sistemas do veículo que podem ser o responsável pela falha:
3. Uma vez detectado os mais prováveis sistemas defeituosos devem-se:
 - Selecionar o sistema com a maior probabilidade de falha:
 - Verificar a maior probabilidade de falha dos componentes do sistema:
4. Feito o diagnóstico preliminar é possível determinar qual componente possui o defeito, este processo só termina quando encontrado o defeito.

Figura 19, Sequência de busca pelo defeito.



Fonte, Autor

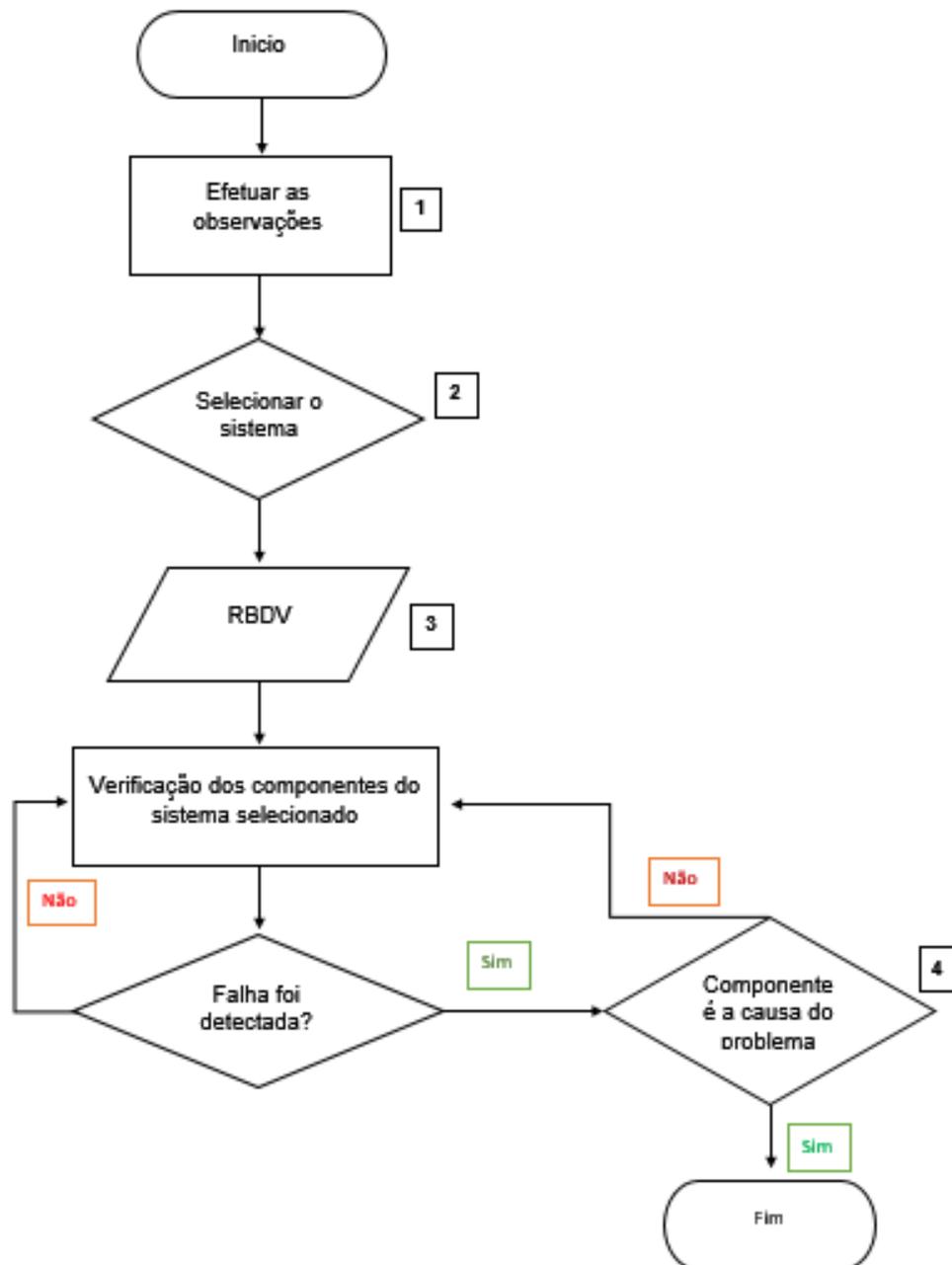
Usando as instruções de cada fabricante de componentes, é realizado o procedimento de avaliação prévia.

Utilizando a estrutura de fluxograma na figura (Figura 19), conseguimos demonstrar o processo ilustrado na figura (Figura 18).

Onde:

- É observado se há existência de vazamentos, ruídos e outras anomalias.
- Selecionado o sistema com a maior probabilidade de falha.
- Verificado os componentes do sistema selecionado com a maior probabilidade de falha.
- A determinação do componente diagnóstico como a causa da falha, depende do auxílio.

Figura 20, Fluxograma do passo a passo da busca pelo defeito.



Fonte, Autor

Com o fluxograma em mãos se facilita o processo de diagnóstico e padroniza a forma de busca pelo defeito, aumentando as chances de acerto.

3.2 Rede Bayesiana construída por meio do programa Nética

Demonstra-se na Figura 20 a Rede bayesiana Diagnóstico Veicular (RBDV), o qual é o foco principal deste trabalho.

Durante o desenvolvimento da Rede Bayesiana um dos objetivos e dificuldades foi o desenvolvimento de uma RBDV com apenas 15 nós ao todo, pelo fato do software utilizado ter somente esta disponibilidade para uso gratuito.

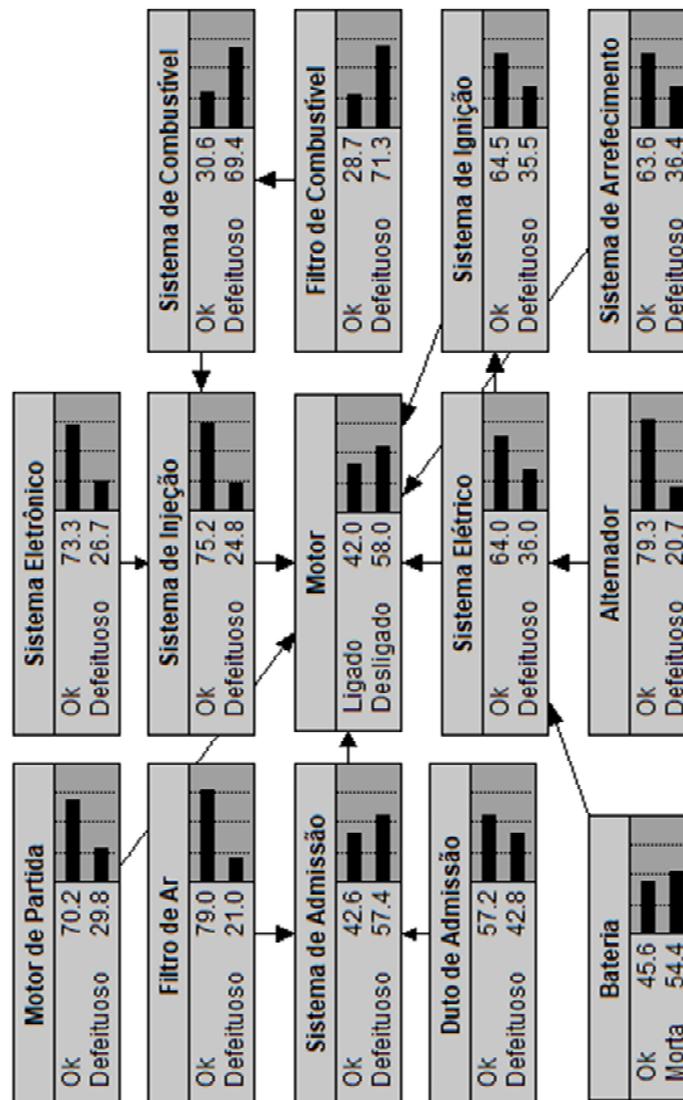
Na construção da RBDV usamos o software Nética (NETICA, 2018), comercializado pela empresa Nética of Company Norsys, na versão demo que limita a dimensão do modelo a construir. Outros programas que utilizam Redes Bayesianas são: OpenBUGS, desenvolvido pela OpenBUGS e Microsoft Bayesian Network Editor.

A RBDV possui as categorias de nós, nós sistemas e nós componentes, conforme ilustrado na Figura 20.

Os “Nós Sistemas” são usados para identificar os sistemas que compõem o motor do veículo, como por exemplo, o sistema de ignição, que é responsável por gerar a faísca nas velas, para que o combustível seja inflamado. Levamos em consideração a relação entre o motor e os sistemas, já que a falha de um componente pode causar a falha do motor.

Os “Nós componentes” descritos na RBDV possuem como nós cada componente que é integrado ao sistema como no sistema de ignição que é composto por bateria, chave de ignição, bobina de ignição, cabos de ignição, velas de ignição e ignição elétrica.

Figura 21, Correlação entre os sistemas do veículo.

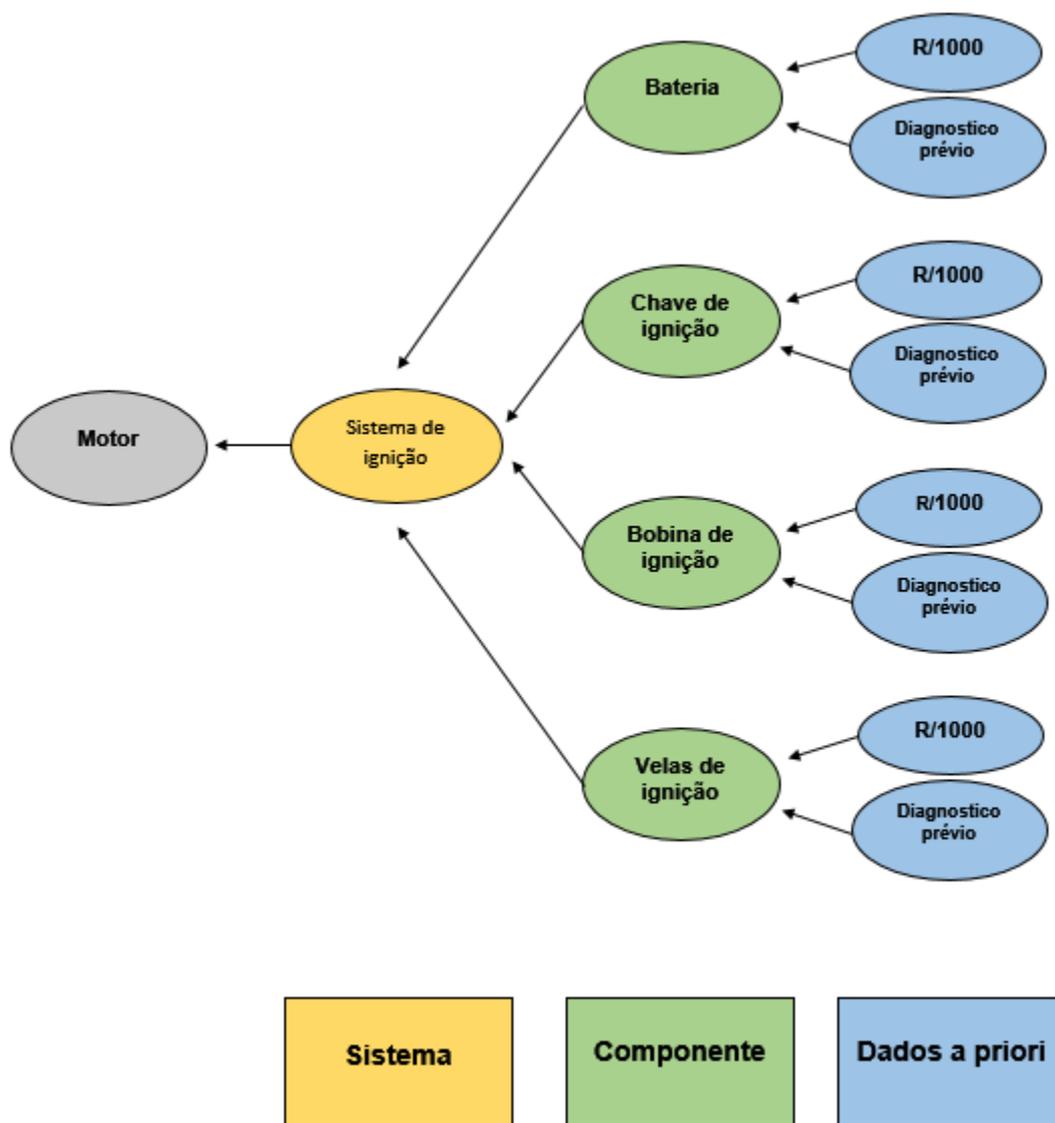


Fonte, Autor

Na figura (Figura 21) mostramos o exemplo de sistema de ignição, onde é um dos sistemas que compõem a RBDV da figura 20 e a estrutura básica de outros sistemas do veículo.

Na figura (Figura 21) mostramos a RBDV dividida em dois grupos: o grupo de dados a priori que é representado pelos nós R/1000 e diagnóstico prévio. Antes de ser iniciado o diagnóstico prévio do sistema, tem que se levar em consideração a qualidade dos componentes, já que esse fator possui a maior probabilidade de falha, o grupo componentes e grupo sistemas.

Figura 22, RBDV, sistema de ignição.



Fonte, Autor

Os demais sistemas da RBDV seguem a mesma estrutura.

É importante ressaltar que na figura (Figura 19), é representada a relação de dependência entre os nós, sendo eles os nós R/1000 e diagnóstico prévio, nó componentes e os nós sistemas. Essa relação de nós pais e filhos são de suma importância para o cálculo das probabilidades, já que a probabilidade é calculada com base nos seus nós pais.

Na seção 3.3 é definido o conceito utilizado para o cálculo dos dados a priori.

3.3 Dados a priori

3.3.1 Dados a priori: nó “R/1000”

O conceito de se usar os índices de qualidade para a base do cálculo de diagnóstico é proposto neste trabalho.

A forma em que os profissionais em reparos automotivos interpretam o conhecimento a priori dos dados de qualidade foram transformados em probabilidades de falhas dos componentes.

Nos índices de controle da montadora, o índice R/1000, representa o número de reparos a cada mil unidades produzidas, as montadoras possuem uma certa preocupação com a quantidade de falhas de componentes, em virtude de seus custos e o descontentamento dos clientes. O nó R/1000 relaciona o número de trocas do componente e o número de veículos fabricados com este componente.

O cálculo do índice de R/1000 é feito através da relação do número de reparos feitos, pelo número de carros vendidos com o devido componente.

É obtido o valor de R/1000 através do seguinte cálculo:

$$\frac{R}{1000} = \frac{\text{Número de reparos}}{\text{Número de veículos produzidos}} \times 1000$$

Demonstramos um exemplo de como obter o índice R/1000:

Foram vendidos 1000 veículos de uma determinada marca e neste lote 25 veículos tiveram defeito em sua bomba de combustível. Neste caso efetua-se o seguinte cálculo:

$$\frac{R}{1000} = \frac{\text{Número de reparos}}{\text{Número de veículos produzidos}} \times 1000$$

$$\frac{R}{1000} = \frac{25}{1000} \times 1000 = 25$$

Relacionando o índice R/1000 em termos de probabilidade de falha, concluímos que a probabilidade de falha é igual a R/1000. Como visto no exemplo acima a falha do componente é igual a 25/1000 = 2,5%. Este valor é considerado como a probabilidade de falha da bomba de combustível na RBDV.

O Quadro 7, Índice (R/1000) em termos de probabilidade de falha.

R/1000	Probabilidade de Falha
0	0%
200	20%
300	30%
400	40%
500	50%
600	60%
700	70%
800	80%
900	90%
1000	100%

Fonte, Autor

3.3.2 Dados a priori: Nó “diagnostico preliminar”

A proposta de criar um nó “diagnostico preliminar”, é a possibilidade de se alterar de forma fácil e rápida a probabilidade de falha do determinado componente:

Suponha-se que temos dois componentes identificados pelos nós A e B, e suas respectivas falhas são de 70% e 80%, onde se torna mais provável o componente B possuir o defeito, com isso ele será escolhido para ser efetuado o diagnostico preliminar. Após feita essa operação, colocamos a situação do componente somente com dois valores de probabilidade, que são 0% o componente está OK ou 100% o componente está defeituoso.

A alteração da probabilidade é de suma importância, já que com um valor mais preciso de falha de componente se aumenta a chance de acerto do diagnostico veicular RBDV, sendo eliminado as possibilidades de o componente estar com defeito.

Durante o desenvolvimento da RBDV, além dos dados de conhecimento a priori, levamos em consideração o fator de influência entre os nós da RBDV, que são as probabilidades de ligações.

Além de usar os dados a priori, consideramos também a probabilidade de ligação, que é empregado para que o conhecimento técnico automotivo possa ser explicito na RBDV, conforme seção 3.4.

3.4 A utilização do conceito probabilidade de ligação

A utilização do conceito probabilidade de ligação na determinação das probabilidades de falhas da RBDV, nós possibilitamos considerar algumas importâncias distintas entre os nós pais e nós filhos, sendo baseado em uma análise de um especialista. Um exemplo desta consideração é o sistema de ignição.

O sistema de ignição na RBDV possui os seguintes nós pais:

- Bateria
- Chave de ignição
- Bobina de ignição
- Cabos de ignição
- Velas de ignição

Para determinar a probabilidade de funcionamento do sistema criamos o seguinte quadro:

Quadro 8, Determinação da probabilidade de funcionamento.

Sistema/ peça	Sistema de ignição	
		Possibilidade de ligação
	Bateria	98
Componentes	Chave de ignição	98
	Bobina de ignição	98
	Velas de ignição	98

Fonte, Autor

A possibilidade de ligação indicada no quadro é interpretada da seguinte forma:

Todos os componentes funcionam de acordo com a qualidade da bateria, se a bateria está OK (100%) o sistema não irá apresentar nenhum defeito, se a bateria estiver abaixo de 100% o sistema irá começar a apresentar defeitos, se a bateria se encontrar MORTA (0%) o sistema não funcionará.

3.5 Planilha de correção entre as observações e os sistemas do veículo

Através de consulta em manuais de manutenção e de livros sobre Motor Otto (MAHLE 2016), (BOSCH 2016) concluímos o Quadro 9 que mostra a relação entre as observações e os sistemas. Com essa abordagem possibilitamos o conhecimento a priori do comportamento do veículo favorecendo o processo de diagnóstico.

Para um fácil entendimento usamos o seguinte exemplo: o motorista leva o veículo até o centro de reparo e relata que o veículo possui uma perda no seu desempenho, e solicita ao especialista em reparo que seja verificado a causa deste problema. Com o Quadro 9 o especialista verifica que o sistema mais provável de causar este problema é o sistema de ignição.

O Quadro 9 possibilita transformar o conhecimento desta relação disponível a todos que atuam no ramo de reparos automotivos quanto aos que não possuem conhecimento técnico, e precisam de um auxílio com o reparo dos veículos.

O manual da empresa Mahle (MAHLE, 2016) foi o principal documento de consulta de quais sistemas são relacionados a cada uma das observações.

A pergunta que se pode surgir é de qual será a necessidade ou vantagem de se utilizar o sistema RBDV, que será demonstrado no Capítulo 4 por meio da demonstração dos testes com o sistema.

Quadro 9, Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo.

Observações	Sistemas							
	Admissão	Arrefecimento	Combustível	Elétrico	Motor de partida	Ignição	Eletrônico	Injeção
Perda de desempenho						X		
Consumo de Combustível		X						X
Veículo não liga				X	X	X	X	X
Múltiplas detonações			X			X		
Pré-ignição			X			X		
Baixa pressão de óleo		X						
Ruídos do motor						X		
Falhas de funcionamento	X	X	X			X		X
Superaquecimento		X				X		X

Fonte, Manual Mahle

4. TESTES DE VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA REDE BAYESIANA DE DIAGNÓSTICO VEICULAR (RBDV)

Neste capítulo apresentamos os testes efetuados com a RBDV demonstrando a capacidade da rede em efetuar o processo de diagnóstico veicular.

No Quadro 10, demonstramos as entradas de dados com os componentes e sistemas que compõem a RBDV, cuja descrição dos campos está no quadro 10:

Quadro 10, Quadro de explicação dos campos dos dados de entrada da RBDV.

Campo	Descrição do campo do quadro de entrada de dados a priori
Variável (Nó)	Relaciona a qual sistema do veículo a variável pertence.
Fatores condicionais	Descrição dos nomes das variáveis.
Tipo	Identifica se a variável é um, componente ou sistema.

Fonte, Autor

Os dados a priori da RBDV foram organizados no Quadro 11, por meio de uma planilha onde são definidos os nomes das variáveis, os fatores condicionais e o seu tipo.

Quadro 11, Entrada de Dados da RBDV.

Variável (Nó)	Fatores Condicionais	Tipo
Sistema de Ignição	Motor	Sistema
Sistema de Arrefecimento	Motor	Sistema
Sistema de Combustível	Bomba de Combustível	Componente
Sistema de Combustível	Sistema de Injeção	Sistema
Sistema de Admissão	Filtro de Ar	Componente
Sistema de Admissão	Duto de Admissão	Componente
Sistema elétrico	Bateria	Componente
Sistema elétrico	Alternador	Componente
Sistema elétrico	Sistema de Ignição	Sistema
Sistema de Injeção	Sistema Eletrónico	Sistema
Sistema Injeção	Sistema de Combustível	Sistema
Motor de partida	Motor	Componente
Motor	Sistema Injeção	Sistema
Motor	Motor de Partida	Componente
Motor	Sistema de Admissão	Sistema
Motor	Sistema Eléctrico	Sistema
Motor	Sistema de Arrefecimento	Sistema
Motor	Sistema de Ignição	Sistema
Motor	Sistema de Combustível	Sistema

Fonte, Autor

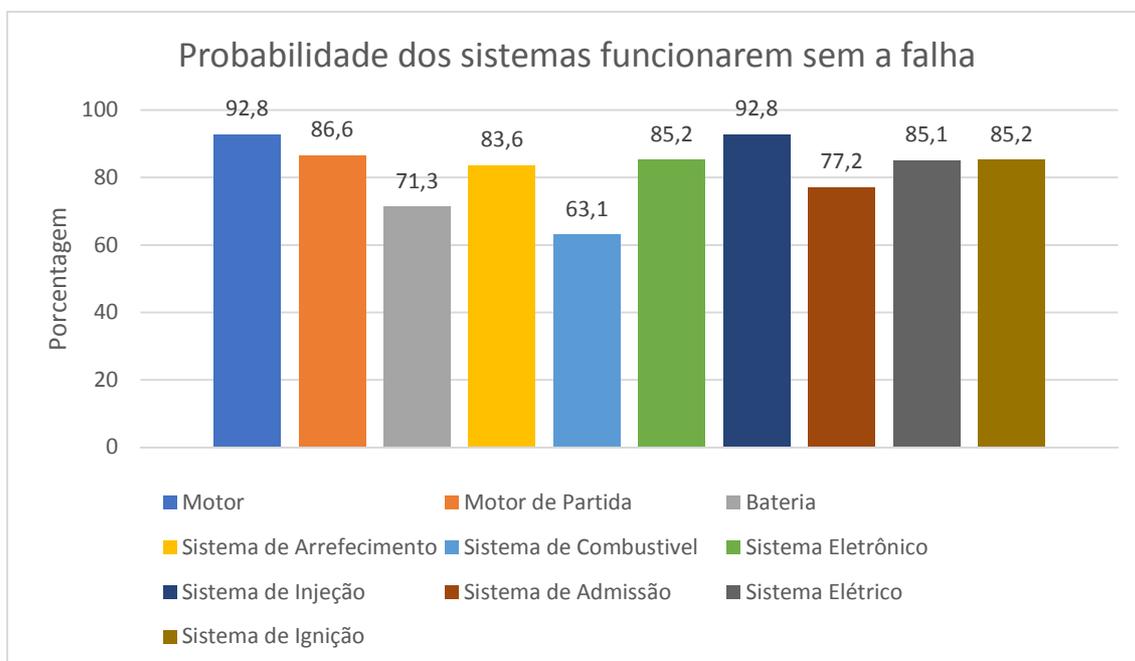
Testes com a RBDV

O teste realizado neste capítulo demonstra uma situação em que o veículo possui uma perda de desempenho. Após realizado o diagnóstico prévio do motor, e realizar a consulta em manuais técnicos concluímos que o defeito estaria no sistema de ignição.

Representamos primeiramente as probabilidades de os sistemas funcionarem obtida pela RBDV sem que houvesse nenhuma observação, ou seja, realizamos a consulta apenas com os dados a priori atribuídos a rede. Nesta condição, os resultados de probabilidade obtidos pela RBDV são resultado dos dados a priori.

A Figura 22 apresenta as respostas da RBDV para as consultas aos nós: “Motor de Partida”, “Sistema de Combustível”, “Sistema Eletrônico”, “Sistema de Injeção”, “Bateria”, “Sistema Elétrico”, “Sistema de ignição” e “Sistema de Admissão”.

Figura 23, Gráfico de probabilidade de os sistemas funcionarem sem nenhuma observação.

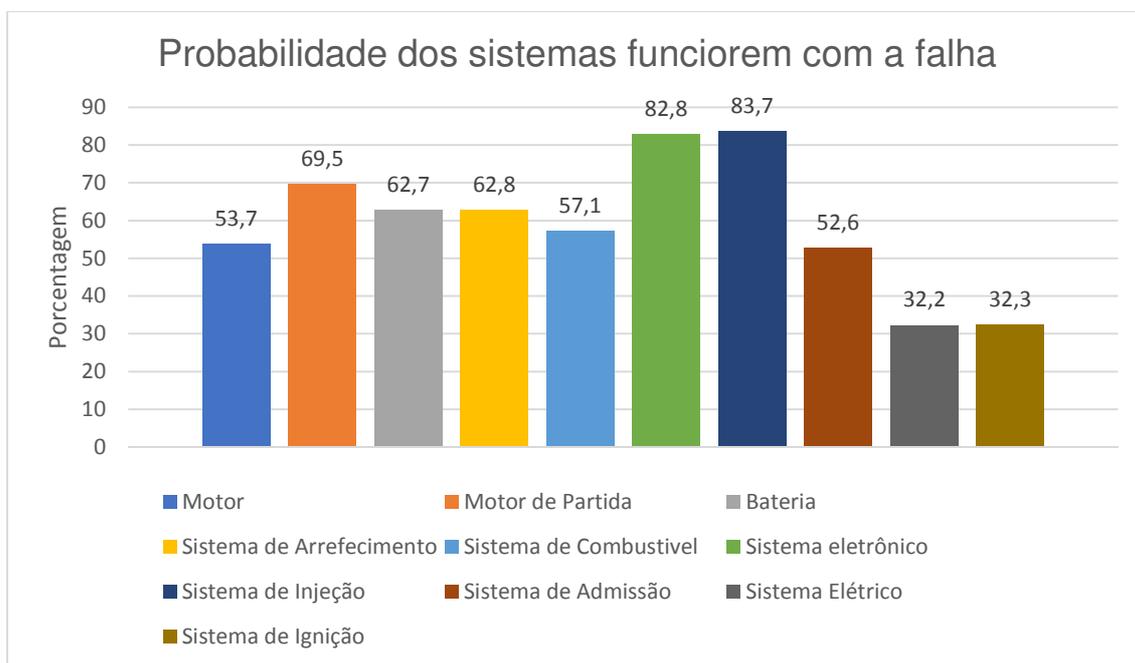


Fonte, Autor

Quando temos a ação de uma disfunção em qualquer sistema, a variável da RBDV construída no software Nética tem a sua probabilidade alterada.

Desenvolvemos o gráfico abaixo para ilustrar as porcentagens dos sistemas estarem funcionando com a devida falha.

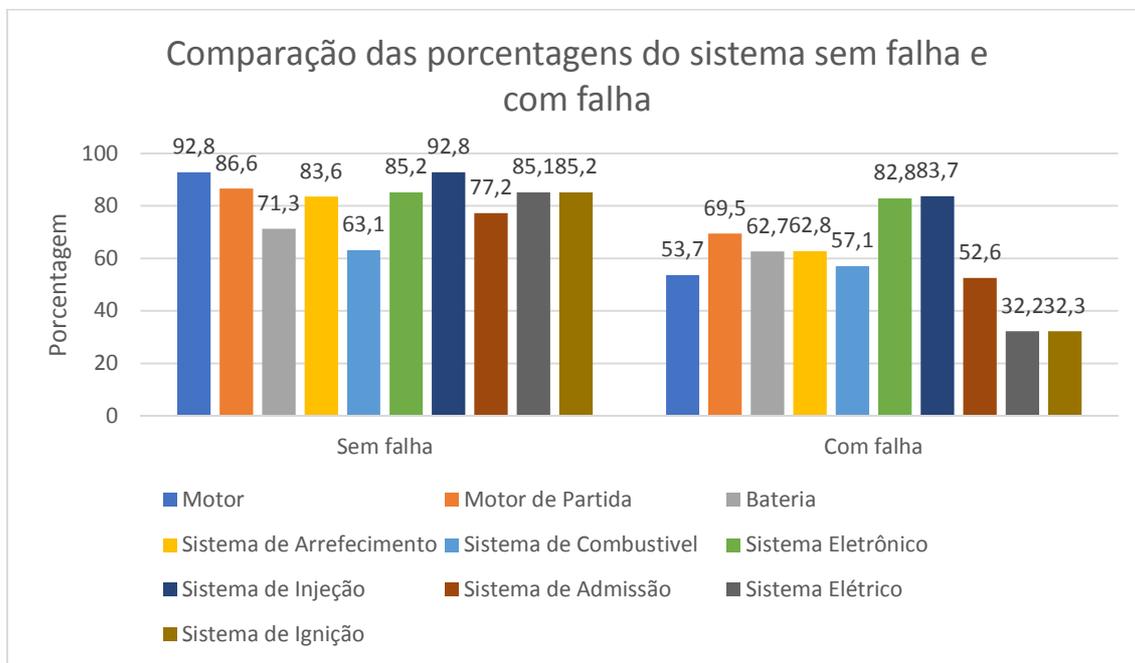
Figura 24, Gráfico de probabilidade de os sistemas funcionarem com a falha.



Fonte, Autor

Mostraremos na figura (Figura 24) uma comparação de resultados obtidos entre as figuras 22 e 23, que representam a probabilidade de falha dos sistemas do veículo na RBDV em duas situações: sem nenhuma falha e com a falha.

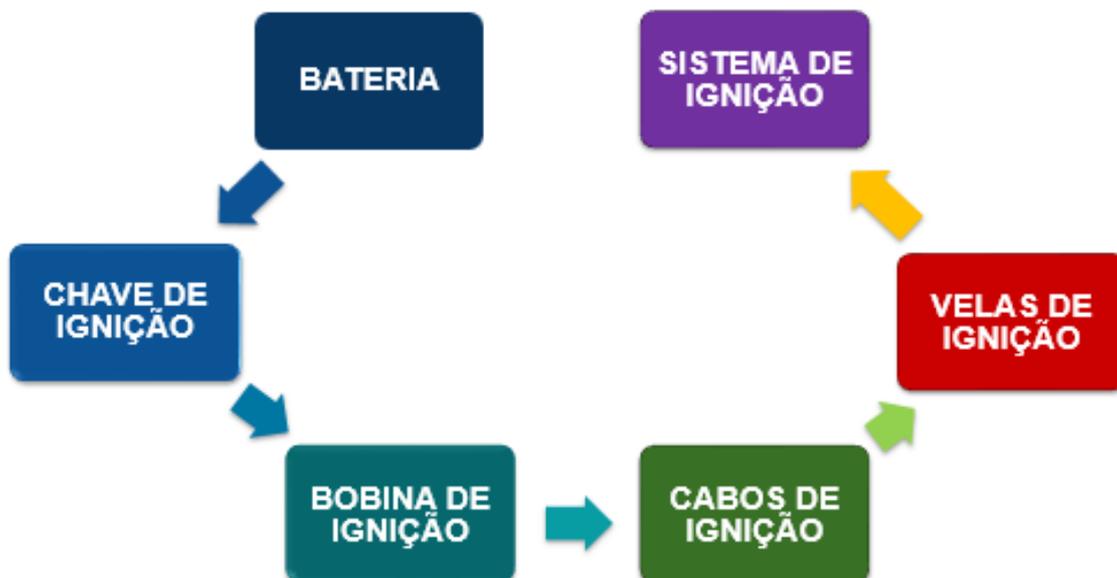
Figura 25, Gráfico de comparação dos sistemas com falha e sem falha.



Fonte, Autor

Analisando o gráfico da figura (Figura 24) verifica-se a diferença de valores de probabilidade entre os sistemas. Consideramos que os sistemas estão com falha quando estão abaixo de 50%, e os sistemas funcionando quando estiverem acima de 50%. No caso os sistemas que apresentam falha são os sistemas elétrico e o sistema de ignição, levando em conta a falha elucidada e a consulta ao manual técnico, constatamos que a falha seria originada no sistema de ignição. Com isso demonstraremos o sistema de ignição e os componentes que o compõem.

Figura 26, Componentes do Sistema de Ignição.

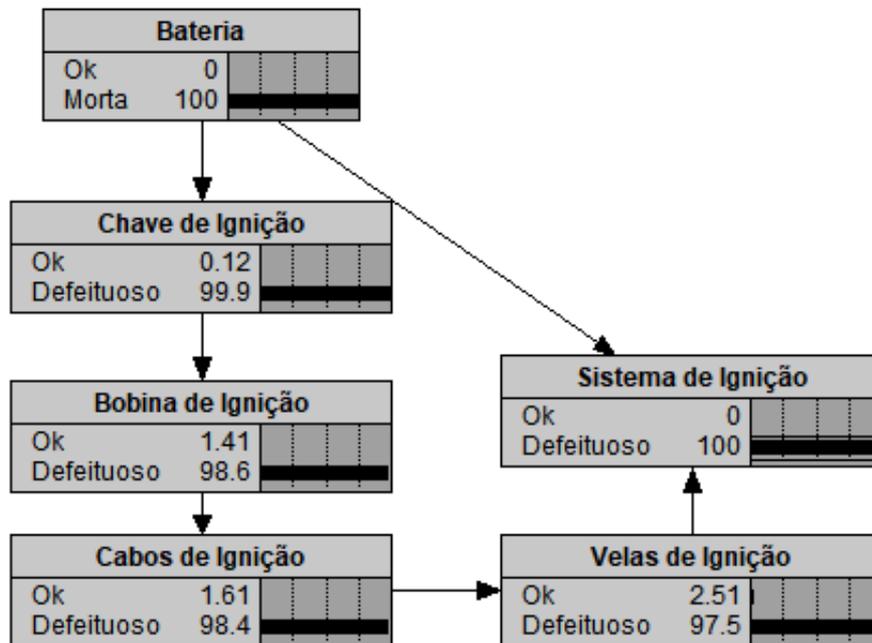


Fonte, Autor

O sistema de ignição funciona relacionado a dependência de seus componentes, onde só irá funcionar se todos os componentes estiverem OK, para que o sistema de ignição funcione corretamente ele dependera das velas de ignição, que dependera dos cabos de ignição e assim sucessivamente.

Demonstra-se, na figura (Figura 26) a RBDV correspondente ao sistema de ignição construído no software Nética.

Figura 27, Sistema de Ignição elaborado no Software Nética.



Fonte, Autor

As probabilidades de falha do sistema de ignição do motor, quando não efetuada nenhuma observação, são demonstradas no quadro. Neste quadro, constam os valores relacionados a probabilidade a priori das variáveis “bateria”, “Chave de ignição”, “Bobina de Ignição”, “Cabos de Ignição” e “Velas de Ignição”.

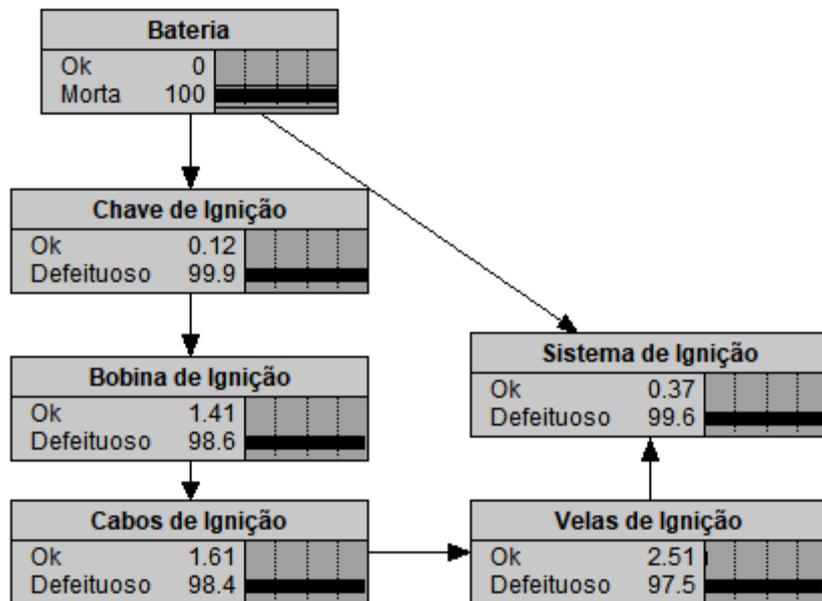
Quadro 12, Quadro com resultados da probabilidade de funcionamento do sistema de ignição do motor da RBDV.

Variável	Valor de probabilidade
Bateria	99,2
Chave de Ignição	99,2
Bobina de Ignição	99,2
Cabos de Ignição	99,2
Velas de Ignição	99,2

Fonte, Autor

Na figura 27 demonstraremos a rede com a falha descrita no Quadro 12, descartando a hipótese do sistema elétrico, motor de partida, sistema de injeção e sistema eletrônico, partimos então para a verificação do sistema.

Figura 28, Sistema de Ignição elaborado no Software Nética com a falha.



Fonte, Autor

Verificando o sistema de ignição (Figura 25), foi constatado que o fato de o veículo possuir uma perda de desempenho é devido ao sistema de ignição estar com defeito.

Da mesma forma que o diagnóstico foi realizado para detecção da causa de perda de desempenho, também é possível realizar outras simulações, com outros tipos de falhas.

O processo de busca pelo defeito no exemplo da falha “Perda de desempenho” é o mesmo a ser utilizado para as demais disfunções. No próximo capítulo são relatadas as conclusões sobre a RBDV e mencionadas as possibilidades de trabalhos futuros.

5. CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi atingido com o desenvolvimento de uma Rede Bayesiana que diagnostica os defeitos de um veículo com motor 4 tempos, conforme ilustrada na figura 5, onde consideramos como sua principal contribuição a possibilidade de reunir conhecimentos: como as observações do condutor e sistemas comercialmente disponíveis de leitura de código de falhas do tipo “OBD” e “Off Board”. Que possibilita que o conhecimento se transforme em explícito na busca pela causa do defeito.

O conhecimento básico proveniente da percepção de baixo desempenho, vazamentos, dentre outras percepções foram transformadas em explícitas, o que possibilita que o motorista seja levado em consideração contribuindo no processo de diagnóstico.

Na Rede bayesiana criada, os nós foram agrupados por sistemas do veículo, possibilitando que futuramente outros sistemas sejam adicionados e que a complexidade de adicionar ou retirar um nó da rede seja pequena. Com o conceito de probabilidade de ligações das variáveis do sistema RBDV, foi obtida a possibilidade de expressar na rede a diferença de influência dos nós pais sobre os nós filhos, por exemplo: verificando o sistema de ignição e utilizando o conceito de probabilidade de ligação, é possível diferenciar o impacto da falha dos componentes, como no caso da bateria (por exemplo) já que com ela morta o sistema de ignição não funciona e com isso o veículo não liga.

Para a utilização da RBDV é proposto que seja seguido uma sequência de busca pelo defeito, com o objetivo de estabelecer uma rotina para o processo de diagnóstico, assim pode-se evitar que a rede seja usada de uma forma não padronizada.

Este trabalho é a concretização de um sistema de diagnóstico veicular que supre as necessidades do mercado e que incrementa os outros sistemas de diagnóstico já existentes

6. TRABALHOS FUTUROS

Entre as demais possibilidades de trabalhos futuros podemos considerar a implementação da rede com mais sistemas e componentes do veículo, ampliando a RBDV. Consideramos que esta ampliação será feita com o uso em situações pratica, onde poderá ser aplicado em sistemas de assistência veicular. (Onstar)

Os dados a priori inseridos no quadro de probabilidade de funcionamento do sistema demonstrado no quadro, podem ser atualizados automaticamente por meio de uma rotina computacional que buscara no banco de dados os indicadores de mau funcionamento do sistema e atualizara a RBDV.

Atualmente no mercado os sistemas disponibilizados de leitura do código de falhas são do tipo "OBD" e "Off Board", porem estes sistemas não levam em consideração as percepções do motorista. Nosso trabalho permite o desenvolvimento de um sistema eletrônico que utilize o conceito da RBDV juntamente com o scanner de leituras de códigos de falhas, no qual a atualização dos dados poderá ser realizada por diversos meios.

7. APÊNDICE 1 QUADROS QUE COMPOEM A RBDV

Neste apêndice demonstraremos os Quadros em que constam as combinações de estado de funcionamento e não funcionamento dos sistemas que compõem a RBDV, o resultado destes quadros são as probabilidades de funcionamento dos componentes da rede.

Quadro de combinações e probabilidades da Variável Motor.

Este quadro se refere ao nó principal de toda a RBDV, sendo o Nó “Motor” filho de todos os sistemas do veículo. Neste quadro mostramos todas as combinações de estado de funcionamento dos sistemas que compõem o sistema motor que foi estudado na RBDV.

Quadro 13, Probabilidade de funcionamento dos Sistemas.

Motor de partida	Sistema de Admissão	Sistema Elétrico	Sistema de Combustível	Sistema de Arrefecimento	Sistema de Ignição	Ligado	Desligado
OK	OK	OK	OK	OK	OK	100	0
OK	OK	OK	OK	OK	Defeituoso	2	98
OK	OK	OK	OK	Defeituoso	OK	2	98
OK	OK	OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	2	98
OK	OK	OK	Defeituoso	OK	OK	2	98
OK	OK	OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	2	98
OK	OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	2	98
OK	OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98
OK	OK	Defeituoso	OK	OK	OK	2	98
OK	OK	Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	2	98
OK	OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	2	98
OK	OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	2	98
OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	2	98
OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	2	98
OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	2	98
OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98
OK	Defeituoso	OK	OK	OK	OK	2	98
OK	Defeituoso	OK	OK	OK	Defeituoso	2	98
OK	Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	OK	2	98
OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	OK	2	98

OK	Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	2	98
OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	OK	2	98
OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	2	98
OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	2	98
OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98
OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	OK	2	98
OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	2	98
OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	2	98
OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	2	98
OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	2	98
OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	2	98
OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	2	98
OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98
Defeituoso	OK	OK	OK	OK	OK	2	98
Defeituoso	OK	OK	OK	OK	Defeituoso	2	98
Defeituoso	OK	OK	OK	Defeituoso	OK	2	98
Defeituoso	OK	OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	2	98
Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	OK	OK	2	98
Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	2	98
Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	2	98
Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98
Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	OK	OK	2	98
Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	2	98
Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	2	98
Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	2	98
Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98
Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98
Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	2	98
Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98
Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	OK	OK	2	98
Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	OK	Defeituoso	2	98
Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	OK	2	98
Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	Defeituoso	2	98
Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	OK	2	98
Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	Defeituoso	2	98
Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	OK	2	98
Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98
Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	OK	2	98
Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	Defeituoso	2	98
Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	OK	2	98
Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	Defeituoso	Defeituoso	2	98
Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	OK	2	98
Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	OK	2	98
Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	Defeituoso	2	98

Fonte, Autor

Quadro de combinações e probabilidades da Variável Sistema de Ignição.

Em virtude de nosso sistema funcionar com relação a dependência de seus componentes, nosso quadro tem como nós somente os componentes que são ligados diretamente ao Sistema de Ignição.

Quadro 14, Quadro de combinações e probabilidades da variável Sistema de ignição.

Bateria	Vela	OK	Defeituoso
OK	OK	100	0
OK	Defeituoso	2	98
Morta	OK	2	98
Morta	Defeituoso	2	98

Fonte, Autor

8. REFÊRENCIA BIBLIOGRAFICA

- ALFATEST- Equipamentos e sistemas para diagnostico e reparação de veículos. <http://www.alfatest.com.br/>
- ARA-SOUZA A.L., Redes Bayesianas: Uma introdução aplicada a Credit Scoring
- BAULTUSIS, P. On Board Diagnosis. Artigo: SAE 2004-21-0009, 2004.
- BELLHOUSE, D. R. The Reverend Thomas Bayes, FRS:A Biography to Celebrate the Tercentenary of His Birth. Institute of Mathematical Statistics, 19 V, No. 1, 2004.
- BOSCH, Robert; Manual de tecnologia automotiva. 25 ed. Editora Edgard Blücher, 2005.
- CHARNIAK K., E. Bayesian networks without tears. AI magazine, pp.50-63, 1991.
- COWELL, R.G. Probabilistic Networks and Expert Systems. New York: Springer, p.5-23, 1999.
- COZMAN, Fábio. Axiomatizing Noisy-Or.
- GOMES, C. W. DIAGNOSE DE MOTORES DIESEL POR MEIO DE REDES BAYESIANAS
- HILGER, J. E., FORD, E. J., FLAHERTY, M. Diagnostic Challenges in the Automotive Workshop. Artigo SAE 2004-21-0011, 2004.
- LAMBERT M. Surhone, Nicolaus Otto
- LIMA R. G. Evolução dos motores a combustão interna ciclo Otto no Brasil.
- MAHLE, Manual Técnico 2016.
- MARQUES R. L. e DUTRA I. Redes Bayesianas: o que são, para que servem, algoritmos e exemplos de aplicações.
- NETICA, 2018, <https://www.norsys.com/netica.html> (último acesso em 04/11/2018).
- PALADY, P. FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos - 2ª Edição, Instituto IMAM, São Paulo, 2002.
- PEARL, J. Causality – Models, Reasoning and Inference. Ed. Cambridge University Press, 2000.

Programa OpenBUGS <http://www.openbugs.net/w/FrontPage> (último acesso em 13/09/2018).

Programa Microsoft Bayesian Network Editor (MBNEx)
<https://www.microsoft.com/enus/download/confirmation.aspx?id=5229> (último acesso em 03/09/2018).

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. Artificial Intelligence: a Modern Approach, Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey, 1995.

SAHEKI, A. H., construção de uma rede bayesiana aplicada ao Diagnóstico de doenças cardíacas, Dissertação Apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SILVA, E. M. M, OLIVEIRA, J. D, RIBEIRO, M. S. C, SANTOS, S. A. B Motores de Combustão Interna.

WILTON DE O. BUSSAB, PEDRO A. MORETTIN, Estatística Básica 9o edição.

<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk> (último acesso em 28/08/2018).

<http://www.openbugs.net/w/FrontPage> (último acesso em 13/09/2018).

<https://www.microsoft.com/enus/download/confirmation.aspx?id=5229> (último acesso em 03/09/2018).