

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS**  
ESCOLA DE ENGENHARIA / ENGENHARIA ELÉTRICA  
Trabalho Final de Curso II

**Brenno Mendes Martins**

MOTOR *BRUSHLESS* NA CONVERSÃO DE VEÍCULOS  
À COMBUSTÃO EM ELÉTRICOS

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

**BANCA EXAMINADORA:**

Orientador Prof. M. E. E. Marcelo Antônio Adad de Araújo – PUC Goiás.  
Prof. M. E. E. Carlos Alexandre Ferreira de Lima – PUC Goiás.  
Prof. M. Sc. Pedro Araújo Valle – PUC Goiás.

Goiânia, dezembro de 2021.

# Motor *Brushless* na Conversão de Veículos à Combustão em Elétricos

Martins, M. Brenno, Araújo A. A. Marcelo

*Resumo*— Além de mostrar a importância dos veículos elétricos na atualidade, este trabalho também visa encontrar uma solução para reduzir a queima de combustíveis fósseis que tem se tornado uma necessidade atualmente, uma vez que eles liberam gases prejudiciais tanto ao homem quanto à atmosfera global. Graças a este fator, uma abordagem aos veículos elétricos tem se tornado imperativa e deve ser criada, é o que se sugere no presente trabalho, ou seja, uma alteração na matriz energética veicular, possivelmente substituindo os veículos a combustão o que tem sido o principal foco da indústria automotiva para a sustentabilidade global, o que irá contribuir para um planeta mais limpo, com emissões reduzidas e assim talvez tenha sido uma solução para a poluição nos centros urbanos, principalmente.

**Palavras Chaves** - Motores Elétricos, Motores *Brushless* DC, Baterias, Controlador MPPT, Controlador PWM, Inversor de Frequência, Kit conversão.

*Abstract*— In addition to showing the importance of electric vehicles today, this work also aims to find a solution to reduce the burning of fossil fuels which is what has become a necessity today, since they release gases that are harmful to both man and the global atmosphere. Thanks to this factor, an approach to electric vehicles has become imperative and must be created, this is what is suggested in the present work, that is, a change in the vehicular energy matrix, possibly replacing combustion vehicles which has been the main focus of the automotive industry for global sustainability, which will contribute to a cleaner planet, with reduced emissions and thus perhaps be a solution to pollution in urban centers, mainly.

**Index Terms** - Electric Motors, *Brushless* DC Motors, Batteries, MPPT Controller, PWM Controller, and Frequency Inverter, Conversion kit.

## I. INTRODUÇÃO

A medida que os combustíveis fósseis reduzem, o mundo volta seus olhos para energias alternativas ou métodos para aumentar a eficiência dos processos atuais. [1]

Atualmente a preocupação com o impacto ambiental tem-se mostrado um problema no cenário automobilístico, contando com o aumento de automóveis e a facilidade de aquisição, a emissão de gases poluentes na atmosfera tem causado danos onerosos. Com essa expansão da emissão do dióxido de carbono, os estudos no mundo acadêmico em relação ao meio ambiente têm se mostrado cada vez mais frequentes. Soluções para o problema tem sido estudadas de várias maneiras, tendo em vista que o mínimo de redução por parte de cada um gera um resultado significativo para o planeta. No quesito político o setor de mercado dos carros a combustão não demonstra apoio fiel ao projeto de tal mudança no cenário automotivo. [21] Além disso, a queima de combustíveis fósseis libera gases que são prejudiciais a humanos e a natureza, o que contribui ainda mais com debate sobre seu uso. [1]

Graças a esses fatores, pode-se nesse cenário entender que os carros a combustão tendem a perder cada vez mais espaço no cenário internacional: o processo utilizado por seus motores é ineficiente e, além disso, são poluentes. Grande parte da energia produzida por esses motores é perdida nas formas de calor, vibração e ruído. [1]

Nas últimas décadas, o progresso na área de materiais magnéticos permanentes (com maior coercividade magnética e menor custo) permitiu o desenvolvimento de motores sem escova, excitados por ímã, que têm se tornado mais adequados e competitivos do que os motores de indução. [2]

Aliado aos motores de ímã permanente sem escovas, os avanços no campo das baterias mais economicamente viáveis, leva ao ressurgimento dos estudos sobre carros elétricos, mas desta vez com melhores frutos no campo da engenharia. Ou seja, bons o suficiente para competir com os carros a combustão.

O presente trabalho apresenta a utilização do motor *Brushless* na conversão de veículos a combustão em elétricos, pois este tem sido um dos melhores métodos para carros elétricos e para conversão de carros comuns em carros elétricos, possuindo um ótimo desenvolvimento na transformação de qualquer veículo, além de apresentar alto rendimento e alta densidade de potência. [1]

Esta conversão é feita com o auxílio de um kit, que irá completar a transformação desejada, com o uso do motor *Brushless*, juntamente com o suporte tecnológico de baterias de alta eficiência, o que significará uma melhora na autonomia do motor, a bateria podendo ser recarregada quando necessário, ou quando o usuário assim o desejar. [1]

Outro ponto abordado é a utilização de veículos elétricos no Brasil, que ainda é muito escassa, uma vez que o país ainda não possui infraestrutura suficiente de postos de recarga elétrica para veículos, além da falta de incentivos governamentais. Dentre tantos problemas ainda se apresenta a burocracia da legislação para inclusão dos veículos elétricos no país, que traria grandes benefícios. [1]

## II. MÁQUINAS SÍNCRONAS DE ÍMÃS PERMANENTES

Motores elétricos são dispositivos capazes de converter energia elétrica em energia mecânica ou movimento [3]. Em outras palavras, esses dispositivos convertem eletricidade em um componente mecânico. Podendo ser usados nas mais diversas situações, como tração mecânica e bombeamento na área sanitária, ou assemelhadas. Os motores de ímã permanente são conhecidos por sua alta eficiência e alta densidade de potência. Por esta razão, este tipo de motor é amplamente utilizado em veículos elétricos. No motor DC sem escovas, os enrolamentos da armadura são colocados no estator e os ímãs

de campo permanentes são colocados no rotor, seu controle é realizado através da comutação eletrônica das chaves por ele operadas. [10]

As principais vantagens da utilização de ímãs permanentes em motores elétricos estão relacionadas à melhoria de sua eficiência graças à redução das perdas por excitação. [2]

Para um melhor entendimento deve-se imaginar que o enrolamento de campo das máquinas síncronas é substituído por ímãs permanentes. As máquinas que usam essa substituição são chamadas de ímã permanente sem escova, justamente porque as escovas que acionam o enrolamento de campo não são mais necessárias. Além disso, a potência dissipada nos enrolamentos dos motores convencionais não estará mais sendo utilizada, pois o campo será produzido por ímãs, o que torna a máquina mais eficiente e reduz o aquecimento dos condutores. Em resumo, o controle da corrente de campo é sacrificado para um melhor desempenho. Lembrar que o controle na máquina *brushless* é realizado de forma eletrônica nas fases da máquina. [5]

Com o aprimoramento dos ímãs nos últimos anos e a queda de seu preço, as máquinas *brushless* vêm ganhando importância no mercado. O uso de ímãs permanentes torna o campo do rotor constante, porém com um valor maior, o que permite obter motores potentes com menor volume. Além disso, essas máquinas se comportam de forma semelhante às máquinas CC, ou seja, são bastante versáteis, porém mais eficientes e sem a necessidade de manutenção nas escovas.

Existem muitas topologias de rotor para essas máquinas. Para velocidades baixas, é comum que ímãs sejam montados na superfície do rotor. No entanto, esses ímãs também podem ser inseridos no alojamento do rotor de muitas maneiras diferentes. Observar os rotores apresentados na Figura 1. [5]

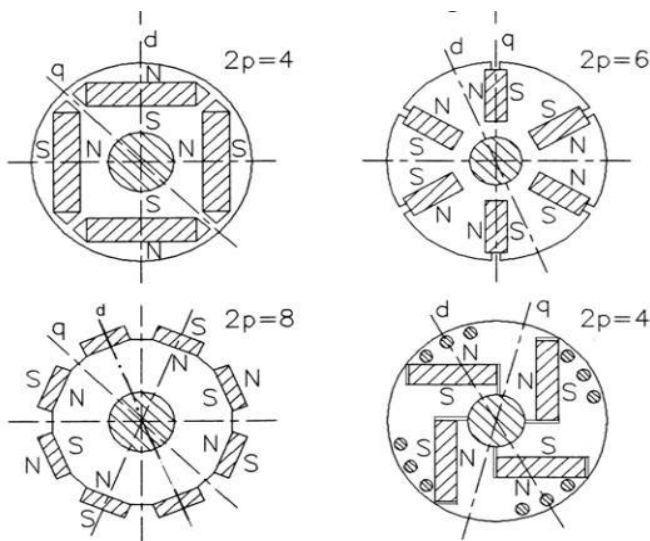


Figura 1. Topologias comuns de rotores. As regiões hachuradas são os ímãs [5]

Os rotores apresentados na figura 1, tem a seguinte descrição:

## 2.1) Rotor com Ímãs de Superfície

Neste projeto, os ímãs são inseridos em cavidades na superfície do rotor para melhorar a resistência mecânica. Com esse tipo de distribuição é possível levar a máquina em altas velocidades. A inserção de ímãs proporciona um aumento na resistência e uma diferença entre as indutâncias do eixo da quadratura e do eixo longitudinal. [11]

## 2.2) Rotor com Ímãs Internos

Os ímãs são inseridos no rotor, o que significa que ele tem maior resistência mecânica em comparação com outros tipos e é usado onde são necessárias altas velocidades. Conforme os ímãs são inseridos, a relutância e a diferença entre as indutâncias do eixo transversal e do eixo longitudinal aumentam, criando um torque de relutância significativo que aumenta a eficiência do motor. [11]

Dependendo da forma de onda aplicada a este motor, ele pode ser chamado de CA ou CC sem escova. O primeiro deve operar como um motor CA com alimentação senoidal. O segundo funciona com uma forma de tensão trapezoidal (ou quadrada) que é muito semelhante às formas DC, conforme a Figura 2. [5]

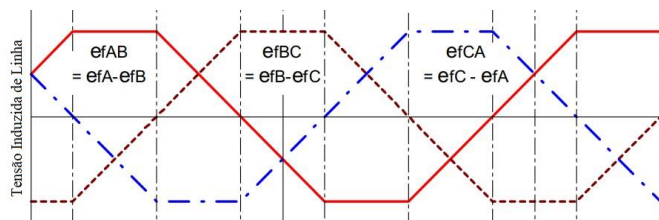


Figura 2. Forma de onda da tensão de um motor *brushless DC* [5]

Com motores DC sem escova, apenas duas fases são ativadas ao mesmo tempo, uma fase é responsável por atrair o ímã e a outra por repelir o ímã. O acionamento dessas fases depende da posição do rotor em relação ao estator, portanto, são necessários sensores no rotor para localizar sua posição (também existem mecanismos sem sensores) [2]. Para gerar um torque constante, a corrente só deve ser alimentada (comutada) nos enrolamentos quando a tensão neles estabilizou em seu nível.

No entanto, existem alguns problemas com essas máquinas. Em baixas velocidades, fica muito evidente a presença de um torque pulsante resultante da interação dos ímãs com a abertura das ranhuras, conhecido como torque de corte ou torque de retenção. Outra causa da pulsação de torque é a comutação incorreta das correntes do estator. Muitas técnicas foram desenvolvidas para contornar esses problemas. Uma das técnicas para minimizar é usar um número de ranhuras por fração de pólo, como 12 ranhuras e 10 pólos ou 2 ranhuras e 10 pólos. Outro mais robusto é denominado enviesado e consiste em posicionar os ímãs em ângulo em relação ao estator [2]. Os rotores do motor de indução são um bom exemplo de inclinação.

Em comparação com os motores de indução, pode-se observar que os motores CC sem escovas apresentam melhor desempenho mesmo com cargas baixas e também possuem controle de velocidade mais simples. Como resultado, esses motores são mais comuns em veículos elétricos, embora motores de indução também possam ser usados. [4]

### 2.3) Acionamento do motor brushless DC

O motor *brushless* é controlado por um inversor *full bridge* com seis chaves de estado sólido com frequências e tempos de chaveamento controlados, de forma que uma tensão trapezoidal é aplicada na saída de chaveamento. [10]

Para operar este motor, é necessário um conversor de frequência para converter a tensão contínua em tensão trifásica com uma frequência proporcional à velocidade instantânea do motor. [10]

A Figura 7 apresenta a representação esquemática do sistema de comutação. Quando o rotor está na posição mostrada na Figura 3, o controlador deve trocar de fase. A direção da corrente deve ser tal que a corrente flua através da fase A. As chaves 1 e 5 fechadas e a corrente flui pelas fases A e B. O sentido de rotação do motor é o sentido anti-horário. Para gerar uma revolução completa, a sequência de chaveamento é D5, D3, D1, D4, D6 e D2 [8], conforme a Figura 3.

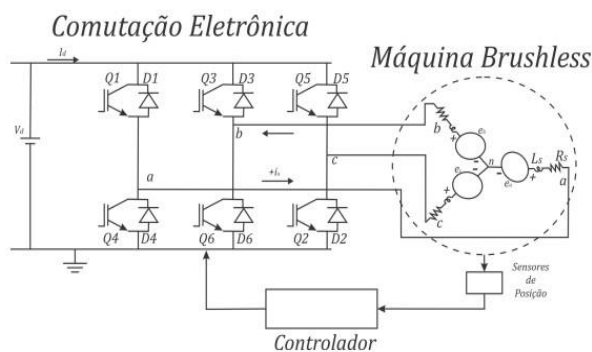


Figura 3. Circuito de um inversor trifásico em ponte [8]

## III. COMPONENTES DO KIT PROPOSTO

Para que o motor seja incorporado em um veículo normal a fim de transformá-lo em carro elétrico, além do motor *brushless*, são necessários alguns componentes, como o kit de conversão, que consiste em:

### 3.1) Baterias

São dispositivos que podem armazenar energia. Nestes dispositivos é possível criar uma DDP de energia elétrica por meio da energia química armazenada, as reações químicas dentro da bateria são convertidas em corrente elétrica [6]. As baterias nada mais são do que um conjunto de acumuladores elétricos recarregáveis e estes por sua vez são dispositivos constituídos por dois eletrodos e um eletrólito, sendo este último

líquido, sólido ou pastoso, sendo sempre um condutor de íons [6]. Quando conectado a um circuito, a corrente flui através deste, quando um dos eletrodos se oxida e libera elétrons é chamado de ânodo, e o outro é reduzido usando os elétrons liberados sendo chamado de cátodo.

Com a expansão do mercado de *smartphones*, o uso da energia fotovoltaica e a volta dos veículos elétricos, as baterias percorreram um longo caminho nas últimas décadas, tornando-se mais leves, menores e mais robustas, e com a tentativa de um menor impacto ambiental. No caso dos veículos elétricos, as baterias podem ser o ponto de desenvolvimento porque, enquanto um motor de combustão interna leva alguns minutos para abastecer, pode levar horas para recarregar a bateria de um veículo elétrico. [13]

A bateria dos veículos elétricos está localizada sob o piso do habitáculo, entre os eixos dianteiro e traseiro, contribuindo para a estabilidade do veículo e, portanto, baixando o centro de gravidade, observar posição da bateria na Figura 4. [12]

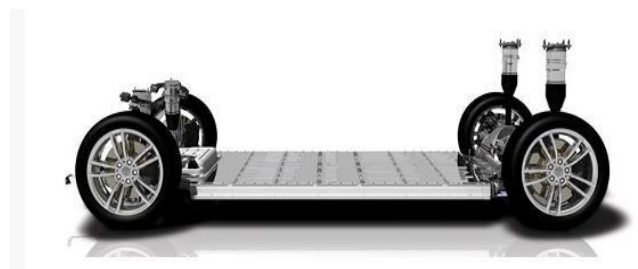


Figura 4: Placa de baterias entre eixos [12]

### 3.2) Bateria de Íon-de-Lítio

Este tipo de bateria usa apenas íon de lítio e não usa outro metal; esses íons estão presentes no eletrólito na forma de sais de lítio que se dissolvem em solventes não aquosos. Durante o processo de descarga, os íons de lítio migram do interior do ânodo para o interior do cátodo, enquanto os elétrons se movem pelo circuito externo. Portanto, os materiais ânodo / cátodo devem permitir a entrada de íons, uma vez que são constituídos por uma estrutura aberta. [6]

O material utilizado no ânodo é geralmente grafite, enquanto o óxido de lítio-cobalto é o material mais usado no cátodo. Durante a descarga da bateria, o grafite no ânodo se oxida, liberando íons de lítio; O cobalto é reduzido no cátodo, o que faz com que os íons de lítio penetrem em sua estrutura. O resultado geral é uma tensão de circuito aberto na faixa de 3,0 a 3,5 V à temperatura ambiente. [6]

Suas principais características são bom desempenho, boa segurança do usuário, com peso, tamanho e custo reduzidos.

Vários estudos estão em andamento para desenvolver baterias para veículos elétricos que possam ser recarregadas mais rapidamente. Estudos mostram que as baterias de lítio atuais carregam e descarregam na mesma temperatura e que, para acelerar o processo de carga, elas podem carregar a bateria acima de 60 °C, e então retornar à sua temperatura padrão de

trabalho. Este procedimento pode garantir que a bateria seja totalmente carregada em até 10 minutos, além de limitar o tempo de exposição da bateria em altas temperaturas de carga, resultando em uma vida útil muito longa. [18]

Para reduzir o tempo de carregamento, deve-se ter uma forma de aquecer a bateria com uma temperatura uniforme, para isso uma estrutura de níquel com auto aquecimento automático foi incorporada à bateria de lítio, que atinge a temperatura desejada em menos de trinta segundos, ver Figura 5 [18].

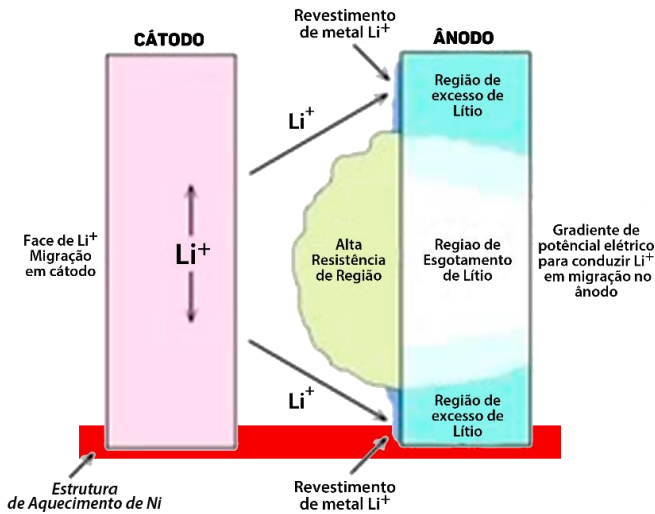


Figura 5. Chapeamentos do lítio [18]

Diante das propriedades da bateria íon de lítio, e a mesma tendo se mostrado muito eficiente, o mercado tem se inovado cada vez mais, com projetos como a bateria lítio-enxofre que possui particularidades que a tornam melhor ainda se comparada com as atuais de íon de lítio, sendo até 15% mais leve, sua durabilidade é significativamente superior e sua matéria prima, o enxofre tem o custo bem mais baixo do que as baterias íon de lítio. [18]

### 3.3) Controlador de Carga

O controlador de carga realiza a ligação entre a bateria e o motor, controlando a quantidade de energia das baterias a ser transmitida para o motor. O controlador de carga de um Veículo Elétrico pode funcionar com corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC). Os controladores de carga ficam entre o motor elétrico e as baterias e são utilizados para controlar a tensão de entrada e saída, evitando sobrecargas e descargas excessivas, otimizando e prolongando a vida útil do motor [8].

Os Carregadores produzem mais ou menos energia de acordo com a variação da potência, e as baterias não suportam esta variação. Para resolver este problema e também para aperfeiçoar o carregamento das baterias, se utilizam os carregadores de carga próprios para baterias [8].

### 3.4) Controlador MPPT

O MPPT é uma sigla em inglês, correspondente a *maximum power point tracking*, que, numa tradução livre, significa “rastreamento do ponto de máxima potência”. Um controlador MPPT é um conversor CC-CC (transforma um nível de tensão contínua em outro) que regula a tensão da saída das baterias e, conseqüentemente, a corrente, de forma a sempre fornecer à carga a máxima de potência disponível. Vale ressaltar que esse rastreamento do ponto de máxima potência é feito de forma eletrônica [8].

Talvez a aplicação mais comum dos controladores MPPT seja na energia solar. Basicamente, nesses sistemas, o controlador ajusta a tensão de saída dos módulos fotovoltaicos de forma a ser próximo da tensão das baterias, o que proporciona uma maior transferência de potência [8].

Quando o conversor CC aumenta o nível da tensão, ele é chamado de *boost*; agora, quando tal conversor diminui o nível, é chamado de *buck*. Existem, ainda, conversores CC que realizam as duas operações, chamados de *buck-boost* [8]. Em suma, o controlador MPPT verifica a tensão da fonte e da carga, verifica qual tensão da fonte corresponde à máxima transferência de potência disponível e, então, converte a tensão para esse nível. No exemplo supracitado, a fonte corresponde aos painéis fotovoltaicos e a carga é a bateria [8].

### 3.5) Inversor de Frequência

Inversores de frequência, também chamados de conversores CC-CA, são dispositivos capazes de converter tensões contínuas em alternadas, sendo bastante utilizados no controle de motores. São constituídos por elementos de estado sólido com disparo e bloqueio controlados, geralmente transistores, chaveados em altas frequências [8].

Para compreender melhor o funcionamento desse dispositivo, o inversor monofásico mostrado na Figura 6, constituído por dois transistores,  $Q_1$  e  $Q_2$ , e dois diodos,  $D_1$  e  $D_2$ . A fonte,  $V_s$ , pode ser uma bateria, por exemplo.

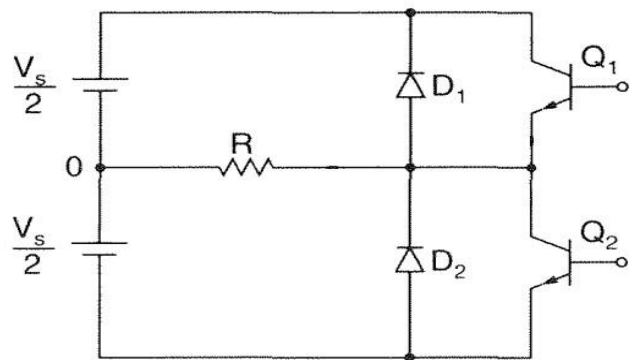


Figura 6. Inversor monofásico [8]

Se um pulso for enviado à base de  $Q_1$ , este irá conduzir, comportando-se como uma chave ideal, fazendo com que uma tensão  $+V_s/2$  apareça nos terminais no resistor. Tirando o pulso

da base de  $Q_1$  e enviando-o a  $Q_2$ , a tensão nos terminais do resistor agora é  $-V_s/2$ . O ciclo pode ser repetido, de forma a transformar a tensão contínua da fonte em alternada da carga.

Os diodos só entram em ação no caso de cargas indutivas, nas quais não pode haver variações bruscas na corrente. Os transistores nunca podem conduzir ao mesmo tempo, pois isso provocaria um curto-circuito na fonte [8].

Um inversor trifásico pode ser obtido conectando três ramos daquele apresentado na Figura 6 em paralelo, conforme apresentado na Figura 7. Embora um pouco mais complicado, o funcionamento deste dispositivo é semelhante ao anterior. Aqui, será considerado que cada transistor conduz por  $180^\circ$ . Começando a sequência, o transistor  $Q_1$  é acionado, seguido,  $60^\circ$  após, por  $Q_2$  e,  $120^\circ$  após, por  $Q_3$ . Cada transistor conduz por  $180^\circ$  e, no final desse período, o transistor no mesmo ramo é acionado, conduzindo também por  $180^\circ$ . O resultado final corresponde a tensões equilibradas, deslocadas entre elas de  $120^\circ$ , como num sistema trifásico. [8]

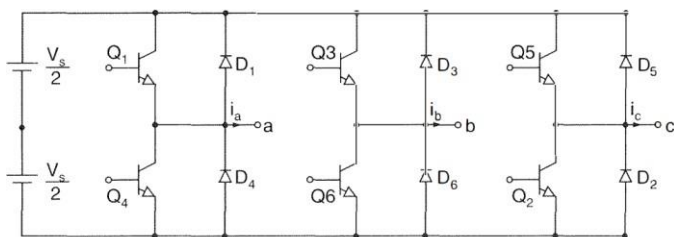


Figura 7. Inversor trifásico [8]

Para um melhor entendimento das correntes da ponte trifásica da figura 7, as correntes que atravessam as chaves em cada sequência de acionamento, pode ser observado na figura 8.

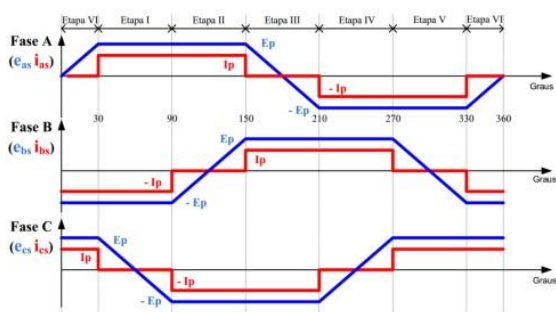


Figura 8. Correntes da ponte trifásica [8]

As formas de onda alternada produzidas pelos inversores são quadradas, enquanto a disponibilidade nos sistemas de distribuição são tensões senoidais. Tais formas de ondas quadradas são cheias dos chamados harmônicos, são compostas por uma soma de senoides de frequências variáveis. Tais harmônicos geram problemas nos sistemas de distribuição e no

torque final dos motores. Das soluções possíveis para este problema, será apresentada aqui, uma técnica em que a duração (ou largura) dos pulsos que acionam os transistores é alterada de acordo com uma senoide de referência, técnica essa utilizada nos inversores comerciais.[8]

Modular a largura de pulso é uma técnica conhecida como PWM (*Pulse Width Modulation*). Ver a Figura 9. A técnica aqui é simples: compara-se uma onda triangular, portadora, com duas senoidais, referência, sendo a frequência referência igual à da rede. A largura do pulso é determinada pelo intervalo no qual a onda triangular é menor que a senoide. Os pulsos de  $Q_1$ , conectado ao positivo da fonte, surgem da comparação entre a portadora e referência positiva; já os pulsos de  $Q_4$ , conectado no negativo da fonte, decorrem da comparação da portadora com a referência negativa. A tensão na saída,  $V_o$ , embora pareça bastante estranha, possui pouco conteúdo harmônico e, para o motor, é como se uma onda senoidal, com frequência da rede, fosse, de fato, aplicada aos seus terminais. [8]

Para concluir, como mencionado, a frequência de saída do inversor depende da frequência do sinal de referência. Além disso, também que a amplitude desse sinal controla a tensão eficaz na saída do inversor. Por fim, os dois transistores no mesmo ramo não podem conduzir no mesmo instante, por isso, a tensão  $V_o$  pode ser vista na Figura 9 como sendo a diferença entre os sinais  $g_1$  e  $g_4$ .

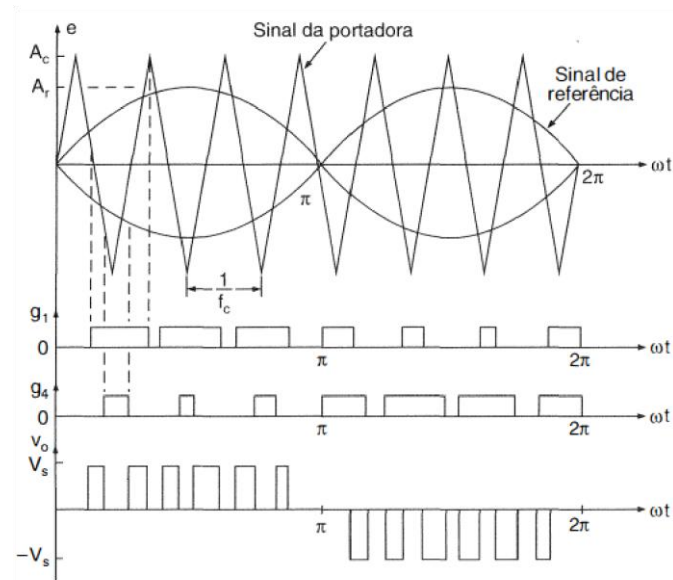


Figura 9. PWM senoidal aplicado a um inversor [8]

O motor *brushless* DC pode funcionar com forma de onda quadrada. Sendo assim, um inversor trifásico pode ser utilizado para acionar tal dispositivo sem a necessidade da técnica de PWM descrita acima, chamada de SPWM, todavia, somente duas fases estarão ativas em dado intervalo de tempo.

Entretanto, para controlar a corrente, pode-se aplicar, também, uma técnica de PWM [2], assim, podendo controlar o valor eficaz da tensão. A Figura 10 mostra o controle da corrente

do motor por meio da aplicação de PWM nos transistores do inversor.

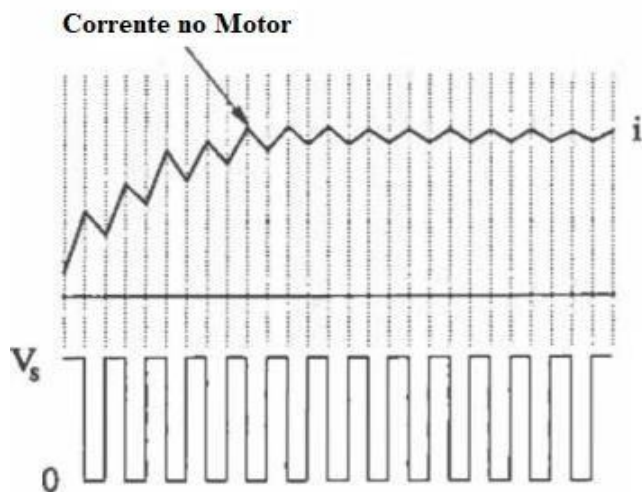


Figura 10. Controle da corrente do motor por meio de PWM nos transistores do inversor de frequência [2]

#### IV. INSTALAÇÃO DO KIT

O processo de conversão elétrica faz com que os automóveis movidos a combustíveis fósseis tenham peças suas substituídas e passem circular com baterias recarregáveis. A vantagem da troca é a redução de danos ao meio ambiente, já que a energia que movimenta os carros elétricos pode ser renovável [10].

Ao iniciar a conversão do carro a combustão em elétrico é preciso saber algumas noções básicas sobre um carro a combustão como, a posição exata do motor, tanque de combustível, e assim por diante. É necessário a instalação do motor *brushless*, em seguida para complementar o motor é feita a instalação do Kit de conversão, que consiste na troca de algumas peças convencionais em peças 100% elétricas, o controle do motor é feito pelo Kit, o que fará com que o carro funcione movido a eletricidade, não sendo preciso mexer no câmbio, pois o mesmo será utilizado para fazer o tracionamento das rodas, com a frenagem dos veículos elétricos é utilizada a frenagem regenerativa, aproveitando a energia cinética provida da frenagem e transformada em energia elétrica, utilizando para o recarregamento da bateria. Devido à energia necessária do sistema ser promovida por baterias, a bateria que mais se mostra adequada a aplicação é a de Íon de lítio [10].

A utilização de baterias como fonte de alimentação sugere a utilização de um controlador MPPT e outro de PWM. O controlador PWM faz-se necessário para o controle da velocidade nessa máquina. A ponte retificadora transforma a tensão contínua de entrada em uma tensão alternada trifásica de saída. Esta tensão contínua alimenta uma ponte inversora formada por transistores de potência (bipolar, IGBT ou MOSFET) e diodos. O comando das bases dos transistores, feito pelo circuito de comando permite a geração de pulsos para o motor com tensão e frequência controladas. Com o método PWM, os transistores de potência são acionados e desligados

várias vezes, de modo que o valor médio de tensão de saída seja variado. O controlador MPPT, tem a função de garantir que, para a tensão atual da bateria, a máxima potência disponível seja transmitida à carga, o que melhora a eficiência do sistema. Por fim, como ocorre no caso dos veículos a combustão, que podem ser reabastecidos em qualquer lugar, pois o bico da bomba é padrão a todo automóvel.

Na Figura 11, é mostrado um motor elétrico, juntamente com seu suporte de fixação, bateria auxiliar, controladores e parte do cabeamento do veículo elétrico. [16]



Figura 11. Conversão de um Carro a Combustão em Elétrico [10]

#### V. COMPARAÇÕES DO MOTOR ELÉTRICO X MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA

Para calcular o gasto mensal com energia (combustível ou eletricidade) consumidos pelos veículos, foi utilizado o veículo *Sandero* com um motor de combustão interna e um *Renault Zoe* elétrico, utilizando o deslocamento estipulado de 1250 km mensais e o rendimento do *Sandero* de 14,2 km/l com gasolina na cidade, obtendo um total de 88 litros consumidos em um mês. Calculando o custo em reais desse volume consumido de combustível, com o litro da gasolina a R\$ 3,86, obtendo um gasto de R\$339,68 mensais. Já para o elétrico, que possui um consumo de 0,133 kWh/km, para um deslocamento de 1250 km e o valor da energia em R\$ 0,69 kWh, o gasto com energia mensal fica em R\$114,71- aproximadamente 34% do valor gasto com combustível para o *Sandero*. Observar a Figura 12. [19]

|   | Veículo Elétrico<br>Renault Zoe | Veículo a Combustão<br>Renault Sandero <sup>9</sup>              |
|---|---------------------------------|--|
| <b>Segmento</b>                                 | Compacto                        | Compacto   |
| <b>Capacidade</b>                               | 5 pessoas                       | 5 pessoas  |
| <b>Valor</b>                                    | R\$87.927,00                    | R\$43.350,00   |
| <b>Motorização</b>                              | Motor elétrico a bateria        | Motor de combustão interna<br>4 tempos, 1.0, 3 cilindros,<br>12V |
| <b>Combustível</b>                              | -                               | Gasolina ou etanol   |
| <b>Potência</b>                                 | 57 kW (77 cv)                   | 58 kW (79 cv)  |
| <b>Torque máximo</b>                            | 210 Nm                          | 100 Nm   |
| <b>Aceleração de 0 a 100 km/h</b>               | 15,5 s                          | 13,1 s   |
| <b>Velocidade máxima</b>                        | 135 km/h                        | 160 km/h   |
| <b>Consumo</b>                                  | 133 Wh/km                       | 14,2 km/l  |
| <b>Autonomia</b>                                | 300 km <sup>10</sup>            | 710 km   |
| <b>Valor do km rodado<br/>(somente energia)</b> | R\$0,09                         | R\$0,27  |

Figura 12: Comparação do veículo elétrico x combustão

## VI. CARREGADORES DE BATERIA

O carregador de bateria converte a corrente alternada para a corrente contínua necessária para recarregar a bateria. Existem diversos tipos de carregadores de bateria, que controlam a taxa de carregamento de diferentes maneiras. A tensão constante é aplicada e a corrente flui para a bateria, em alta corrente quando a bateria está descarregada e baixa corrente quando a bateria está quase carregada. [12]

Até que a tensão da bateria atinja um valor definido é aplicado uma corrente constante. E para que o ciclo de carga comece é necessário aplicar uma corrente alta e constante, até que a tensão atinja um valor definido, em seguida muda para um controle de tensão constante. Há diversas classificações do tipo de recarga quanto à sua duração, entretanto, de forma geral, pode-se classificar a recarga de um Veículo Elétrico como carga lenta ou carga rápida. Muitas vezes a carga lenta é designada por recarga em Nível 1 ou recarga em Nível 2, enquanto a carga rápida é citada como recarga em Nível 3. [14]

A carga lenta (ou carga normal) pode ser definida como a recarga completa do banco de baterias de um Veículo Elétrico cujo tempo de duração é superior a 8 horas. Este tipo de recarga é geralmente associado à recarga noturna (residencial) e à recarga de oportunidade de um Veículo Elétrico (durante o período de estacionamento do veículo em pontos de recarga disponíveis no local de trabalho). A carga lenta é geralmente realizada com a conexão do Veículo Elétrico à rede elétrica, com alimentação em corrente alternada. Pode-se definir carga rápida como a recarga completa do banco de baterias de um Veículo Elétrico com duração igual ou inferior a 20 minutos, garantindo que o veículo trafegue normalmente [13]. A Empresa EPRI (*Electric Power Research Institute*) define três níveis de cargas, sendo eles:

### Nível de carga 1

Este nível de carga é chamado de modo lento, sendo efetuado normalmente em áreas residenciais por meio de uma

tomada típica de uma instalação de uso final ou à rede de baixa tensão que faz parte da rede de distribuição. Neste modo de carregamento, é usada uma tensão padrão de 120 V<sub>CA</sub>, com corrente de 15A ou 20A e taxa de potência máxima de 3,44 kW, o que tem como consequência um aumento no tempo de carregamento da bateria, que fica em torno de 8 a 10 horas para atingir 100% da capacidade [15].

### Nível de carga 2

Este é o modo de carga mais apropriado para o carregamento dos Veículos Elétricos, pois se encontra em instalações públicas e privadas, possuindo uma tensão de 240 V<sub>CA</sub> com uma tomada monofásica e corrente de 40A, podendo fornecer uma taxa de carregamento ou potência de carga de até 33kW. Tem um tempo de carregamento estimado em 7 horas, para que se alcance o nível de 100% da bateria [15].

### Nível de carga 3

O modo de carga nível 3 é também chamado de modo de carga rápida. Foi desenvolvido para o carregamento da bateria com uma taxa de carregamento maior do que 60kW. Desta forma, a bateria pode ser carregada até atingir 80% de sua capacidade em menos de uma hora. Este modo de carga rápida tem sua instalação destinada para estações de serviço com aplicações comerciais e públicas, semelhante aos postos de combustíveis. Utilizando uma tensão de 480 V<sub>CA</sub> com circuito trifásico. Dependendo da aplicação, o fornecimento da taxa de carregamento varia de 60 até 150kW [15].

### Padronizações dos plugs de carregamento dos Veículos Elétricos

É importante que haja padronização nos conectores utilizados na recarga de baterias de Veículos Elétricos, para a popularização e consolidação da tecnologia veicular elétrica no mercado.

O SAE J1772 é uma norma norte-americana, para conectores para veículos elétricos mantidos pela *Society of Automotive Engineering*. Traz especificações dos conectores utilizados na recarga condutiva de veículos elétricos, além de definir diferentes níveis para a execução de tal tipo de recarga de baterias [16]. A SAE Internacional (*Society of Automotive Engineering*) é um órgão mundial de cientistas, engenheiros e profissionais que fomenta o conhecimento sobre veículos e sistemas automotores em benefício da sociedade.

O método de recarga “CA Nível 1” permite realizar a recarga de um Veículo Elétrico através de uma tomada residencial comum, à qual deve ser conectado o equipamento de interface compatível com “CA Nível 1”. Já o método de recarga “CA Nível 2”, que é considerado a forma de recarga mais importante para pontos de recarga públicos e privados, não é compatível com tomadas residenciais e necessitando de equipamentos especiais [16].



O outro conector é o JARI DC de alta tensão, projetado pela TEPCO para carregamento rápido em CA (480 V<sub>CA</sub>, 125 A). Entre esses conectores DC existem uma série de diferenciações, que variam de acordo com o fabricante dos Veículos Elétricos. Mas em geral são conectores para sistemas de carregamento rápido, ver imagem dos conectores em figura 13 [16].



Figura 13. Utilização de mais de um tipo de conector para recarga [16]

## VII. VIABILIDADE DO *BRUSHLESS* NO BRASIL

Os veículos elétricos no Brasil ainda são pouco populares, pois os carros movidos a eletricidade são de base de energia renovável e não emitem gases poluentes. A poluição promovida pelos automóveis movidos a combustíveis fósseis, é um dos temas que tem gerado preocupações no mundo, e como resultado disso alguns países tem se empenhado a desenvolver melhorias na qualidade de vida da população adotando o veículo elétrico [17].

Para implementar esta tecnologia no país é necessário a redução tributária, a criação de planos de incentivos e subsídios às montadoras de veículo, políticas públicas de incentivos a inserção da modalidade, além de investimento em infraestrutura [19].

A viabilidade econômica do veículo elétrico é relativamente alta, pois ainda que seu valor de compra seja maior, o custo por km rodado é menor do que os veículos a combustão, perdendo somente em relação a autonomia. No que diz respeito a infraestrutura para abastecimento dos carros elétricos, é necessário na adaptação das cidades, com a locação de ponto de recarga dos veículos elétricos [17].

## VIII. CONCLUSÃO

Diante dos fatos citados, permitiu-se de modo geral, constatar que os veículos movidos a eletricidade são mais eficientes que o veículo a combustão, por apresentar certas vantagens sobre os veículos convencionais entre as quais se destacam: menor emissão de gases nocivos durante todo o ciclo de vida, alta eficiência energética, independência do petróleo como fonte de energia (em matrizes energéticas predominantemente renováveis), menor custo de manutenção

julgando que o custo atual da eletricidade comparado com o preço do combustível torna o custo do km rodado mais barato com um veículo elétrico, condução mais agradável por ser mais silenciosa e a poluição sonora nas cidades seria bem menor, assim trazendo grandes benefícios tanto para sociedade como para o meio ambiente, porém não se eleva em conta o descarte das baterias no presente trabalho.

No presente trabalho é realizada uma análise teórica, na qual se inclui um estudo que se refere à conversão de um veículo a combustão interna em um veículo elétrico utilizando o motor *Brushless* que dispõe de várias vantagens citadas anteriormente. O motor *Brushless* é instalado juntamente com um kit e uma bateria auxiliando na autonomia do veículo substituindo a estrutura gigantesca do motor a combustão, em comparação com o motor elétrico que tem dimensões reduzidas e apresenta também uma forma mais fácil de controle, instalação e conexão mecânica, apresentando uma melhor relação de força comparativamente ao tamanho dos motores.

A inserção dos veículos elétricos na sociedade tem importância significativa, pois ele traria grandes benefícios para o meio ambiente, sem despejar gases poluentes, contando também com o fator do calor da combustão, portanto, contribuem para reduzir as chamadas “ilhas de calor” nas metrópoles.

A realização desta conversão nos veículos convencionais, atualmente de fato é viável, porém os equipamentos são de alto custo, sem comercialização no país. Outro ponto desfavorável é a falta de infraestrutura das cidades para receber este tipo de veículos pois seriam necessários pontos recargas assim como os postos de combustível, além da falta de incentivo governamental, que acaba por desestimular a utilização dos veículos movidos a eletricidade no país. Conclui-se ainda que, o cenário político nacional não demonstra interesse prático no assunto, nem apresenta projetos exatos para que se haja uma expansão de tal projeto em nosso país.

## IX. REFERÊNCIAS

- [1] BIOAGÊNCIA, “Por que veículos à combustão estão com os dias contados?” 21 nov 2017. [Online]. Available: <http://www.bioagencia.com.br/noticias/8836/por-queveiculos-a-combustao-estao-com-dias-contados.html>. [Acesso em 13 abr 2019].
- [2] T. J. E. M. J. R. Hendershot Jr, Design of Brushless Permanent-Magnet Motors, Oxford: Magna Physics Publishing, 1994.
- [3] S. D. Umans, Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley, Porto Alegre: AMGH, 2014.
- [4] A. D. Raju Yanamshetti S.S.Bharatkar, “Performance Comparison of PWM Inverter Fed IM Drive & BLDC Drive for Vehicular Applications,” *ICVES*, 2009.
- [5] J. F. Gieras, Permanent Magnet Motor Technology, Nova York: CRC Press, 2010.

- [6] L. C. F. S. R. B. Nerilso Bocchi, "Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental," *Química Nova na Escola*, nº 11, 2000.
- [7] A. F. Burke, "Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles," *Proceedings of the IEEE*, abr 2007.
- [8] M. H. Rashid, *Eletrônica de Potência: Circuitos, Dispositivos e Aplicações*, São Paulo: Macron Books, 1993.
- [9] Folha de São Paulo, "Limites de emissão de poluentes impõem carros elétricos na Europa," [Online]. Available: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2019/03/limitesde-emissao-de-poluente-impoem-carros-eletricos-naeuropa.shtml>. [Acesso em 14 maio 2019].
- [10] J C N F, "Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos," [Online]. Available: [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22557/1/Tese\\_VF\\_a52762\\_Pdf.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22557/1/Tese_VF_a52762_Pdf.pdf). [Acesso em 17 de outubro de 2019].
- [11] M H A, " Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro," [Online]. Available: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA\\_CarrosEl%C3%A9tricosViabilidade.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA_CarrosEl%C3%A9tricosViabilidade.pdf). [Acesso em 17 de outubro de 2019].
- [12] M. Yilmaz e P. Krein, "Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 2151–2169, outubro 2019.
- [13] A. F. Burke, "Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles," *Proceedings of the IEEE*, outubro 2019.
- [14] L. Ulrich, "State of charge," *IEEE Spectrum*, vol. 49, no. 1, pp. 56–59, outubro 2019.
- [15] CARRO, Rodrigo. Postos para recarga de veículos elétricos se multiplicam pelo país. Disponível em: <<http://brasileconomico.ig.com.br/negocios/2015-0713/postos-para-recarga-de-veiculos-eletricos-semultiplicam-pelo-pais.html>>. Acesso em: 18 out. 2019.
- [16] SAE, "SAE std. J1772 - SAE electric vehicle and plug in hybrid electric vehicle conductive charge coupler," Out. 2019.
- [17] M. H. A. Marcelo. "Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro", 20 de jun. de 2018. Disponível em: <[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA\\_CarrosEl%C3%A9tricosViabilidade.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA_CarrosEl%C3%A9tricosViabilidade.pdf)>. Acesso em: 17 de out. de 2019.
- [18] Inovação tecnológica, " Bateria de lítio recarrega em 10 minutos" 31 de out. de 2019. Disponível em: <[https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bateria-litio-carros-eletricos-recarrega-10-minutos&id=010115191031#.XdA\\_EVdKjIW](https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bateria-litio-carros-eletricos-recarrega-10-minutos&id=010115191031#.XdA_EVdKjIW)>. Acesso em: 06 de nov. de 2019.
- [19] A.C.F.R.S, " Análise da viabilidade de um veículo elétrico versus veículo a combustão" 31 de out. de 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12590/TCCE\\_EEAPP\\_EaD\\_2017\\_SANTOS\\_ANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12590/TCCE_EEAPP_EaD_2017_SANTOS_ANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 06 de nov. de 2019.
- [20] MANANCIAL, "Análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão". 07 de out. de 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12590>> Acesso em: 06 de nov. de 2019.
- [21] CASOTTI, Bruna Pretti; GOLDENSTEIN, Marcelo. *Panorama Do Setor Automotivo : As Mudanças Estruturais Da Indústria E As Perspectivas Para O Brasil*. BNDES Setorial. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008. v. 28. p. 147–188.