

# PROTOCOLO DE REVISÃO

**Pesquisador(a): Oséias Dias de Farias**

**Tema:** Aprendizado por Reforço para Controle Preditivo Adaptativo em Inversores de Frequência: Uma Abordagem sem Modelo para Carregamento Dinâmico de Veículos Elétricos

## Objetivos:

**Objetivo Geral:** Propor uma estratégia de Aprendizado por Reforço (RL) para otimizar o Controle Preditivo Adaptativo em inversores de frequência, visando carregamento dinâmico eficiente de veículos elétricos (VEs) sem dependência de modelos matemáticos precisos.

## Objetivos Específicos:

1. Analisar as limitações do controle preditivo de modelo (MPC) em inversores de frequência, especialmente em cenários com incompatibilidade de parâmetros ou variações dinâmicas.
2. Projetar uma arquitetura de RL integrada ao controle preditivo, capaz de adaptar-se em tempo real a condições operacionais não lineares e incertas.
3. Implementar e testar a estratégia RL-MPC em ambiente simulado, avaliando desempenho sob cargas variáveis e perturbações típicas de carregamento de VEs.
4. Testes práticos em bancada para validação do sistema proposto.

## Formulação da(s) pergunta(s) da revisão:

- Como usar Aprendizado por Reforço em tempo real para otimizar o processo de controle de inversor de frequência para carregamento eficiente de veículos elétricos?

## Fonte(s):

- IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org>
- Portal CAPES: [www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br)
- Academic Google: <https://scholar.google.com.br>

**Data/período da Busca:** 01/01/2018 à 27/03/2025

**Intervalo de tempo da busca:** 7 anos

## Palavras-chaves:

Palavra-chave em Português	Sinônimos em Português	Palavra-chave em Inglês	Sinônimos em Inglês
		Q-learning	

Veículos elétricos híbridos	carros elétricos	Hybrid electric vehicles	
Controle de corrente		Current control	

#### String(s) de busca utilizada(s):

- **Generica:** ("Model-free" OR "predictive" OR "control" OR "voltage source converter" OR "power electronics control") AND (RL OR "Reinforcement Learning" OR "MDPs" OR "Q-Learning" OR "DQN" OR "Deep Q-Networks" OR "DQN" OR "Deep Q-Learning") AND ("EVs" OR "Electric Vehicle\*" OR "Frequency Inverter\*" OR "Dynamic Load Charging")
- **IEEE:** ((Model-free OR predictive OR control OR voltage source converter OR power electronics control) AND (RL OR Reinforcement Learning OR MDPs OR Q-Learning OR DQN OR Deep Q-Networks OR DQN OR Deep Q-Learning) AND (EVs OR Electric Vehicle\* OR Frequency Inverter\* OR Dynamic Load Charging) )

#### CrITÉRIOS de Inclusão e Exclusão

CrITÉRIOS	Tipo
	Inclusão ou Exclusão

#### Justificativa:

O Controle Preditivo de Modelo (MPC) convencional, embora eficaz, depende de modelos matemáticos precisos do inversor, tornando-o vulnerável a variações dinâmicas e incompatibilidades de parâmetros em sistemas como o carregamento de veículos elétricos (VEs) (J. Rodríguez, 2020). Propõe-se, então, explorar o Aprendizado por Reforço (RL) como alternativa sem modelo para otimizar o controle preditivo em tempo real. Essa abordagem permite que o inversor se adapte autonomamente a condições não lineares e incertas, melhorando eficiência energética e estabilidade sem exigir

conhecimento prévio detalhado da planta. O estudo visa contribuir para sistemas de carregamento mais robustos, alinhados à demanda por mobilidade elétrica sustentável.

**Critérios de Qualidade**

Critérios	Nota
1.	(De 0 a 2)
2.	(De 0 a 2)
3.	(De 0 a 2)
4.	(De 0 a 2)
5.	(De 0 a 2)

**CLASSIFICAÇÃO = Somatória das notas dos critérios (N)**

**OBS:**

**N >= 85% (Excelente)**

**65% =< N <= 85% (Muito Boa)**

**45% =< N <= 65% (Boa)**

**25% =< N <= 45% (Média)**

**N < 25% (Baixa)**

**Lista dos artigos encontrados**

**Lista dos artigos incluídos**

Nº	Título do artigo	Autores	Publicação	Veículo
1	Model-free Neural Network-based Current Control for Voltage Source Inverter	Oswaldo Menendez Felipe Ruiz Daniel Pesantez Juan Vasconez Jose Rodriguez	2024 IEEE International Conference on Automation/XXVI Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)	IEEE Xplore
2	Reinforcement Learning-Based Energy Management Control Strategy of Hybrid Electric Vehicles	Fei Chen Peng Mei Hehui Xie Shichun Yang Bin Xu Cong Huang	2022 8th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)	IEEE Xplore
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

16				

**Lista de artigos excluídos**

Nº	Título do artigo	Autores	Publicação	Veículo
1				
2				
3				
4				
5				

**FORMULÁRIO DE EXTRAÇÃO DE DADOS**

1º)

**Título do Artigo:** Model-free Neural Network-based Current Control for Voltage Source Inverter

**Autores:** Oswaldo Menendez, Felipe Ruiz, Daniel Pesantez, Juan Vasconez, Jose Rodriguez

**Data da Publicação:** 9 de Novembro de 2024

**Veículo de Publicação:** IEEE

**Fonte:** IEEE Xplore

**Abstract:** This work introduces a current control strategy for Voltage Source Inverters (VSI) using data-driven control systems, particularly employing a framework based on Deep Reinforcement Learning agents. Unlike the other techniques in the literature, we have avoided using a modulator by including a Deep Q-Network agent. In addition, an analysis of the impact of different Deep Neural Network (DNN) architectures on control system performance, specifically considering the number of layers and neurons, is presented. To this end, different DQN agents were designed, trained, and tested. Also, a two-level voltage source power inverter is simulated to validate the proposed data-driven control based on DQN agents. The performance of the control strategy is analyzed in terms of computational cost, Root Mean Square Error (RMSE), and Total Harmonic Distortion (THD). Simulated results reveal that the proposed control strategy performs strongly in the current control, with a maximum RMSE of 0.83 A and a THD of 5.29% at a 10 kHz sampling frequency when a DNN with one layer and five neurons is used.

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma estratégia de controle de corrente para Inversores de Fonte de Tensão (VSI) usando sistemas de controle orientados por dados, particularmente empregando uma estrutura baseada em agentes de Aprendizado por Reforço Profundo. Diferentemente das outras técnicas na literatura, evitamos usar um modulador incluindo um agente Deep Q-Network. Além disso, é apresentada uma análise do impacto de diferentes arquiteturas de Rede Neural Profunda (DNN) no desempenho do sistema de controle, considerando especificamente o número de camadas e neurônios. Para esse fim, diferentes agentes DQN foram projetados, treinados e testados. Além disso, um inversor de energia de fonte de tensão de dois

níveis é simulado para validar o controle orientado por dados proposto com base em agentes DQN. O desempenho da estratégia de controle é analisado em termos de custo computacional, Erro Quadrático Médio (RMSE) e Distorção Harmônica Total (THD). Os resultados simulados revelam que a estratégia de controle proposta tem um forte desempenho no controle atual, com um RMSE máximo de 0,83 A e um THD de 5,29% a uma frequência de amostragem de 10 kHz quando uma DNN com uma camada e cinco neurônios é usada.

**Estudo:**

**Data de execução:** 27/03/2025

**Local:**

**Tipo:**

**Descrição:****Hipóteses avaliadas:****Variáveis independentes:****Variáveis dependentes:****Participantes:****Material:****Planejamento do estudo:****Ameaças à validade:****Resultados:****Comentários adicionais:****Referências relevantes****Justificativa:**

2º)

**Título do Artigo:** Reinforcement Learning-Based Energy Management Control Strategy of Hybrid Electric Vehicles

**Autores:** Fei Chen, Peng Mei, Hehui Xie, Shichun Yang, Bin Xu, Cong Huang

**Data da Publicação:** 31 de Maio de 2022

**Veículo de Publicação:** IEEE

**Fonte:** IEEE Xplore

**Abstract:** This article is aimed at developing a control strategy based on the Q-learning algorithm for HEVs. The Q-learning algorithm deals with high-dimensional state space problems, and the agent will have a “dimension disaster” problem during the training process. Then a control strategy based on the Deep Q Network (DQN) algorithm is introduced. Since DQN can only output discrete actions, in order to achieve continuous action control, an optimized control strategy based on the Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) algorithm is proposed. Simulation results show that compared with Q-learning and DQN algorithms, the DDPG algorithm converges faster, and the training process is more robust. Besides, the energy optimization control strategy based on the DDPG algorithm can better control the energy of HEVs.

**Resumo:** Este artigo tem como objetivo desenvolver uma estratégia de controle baseada no algoritmo Q-learning para HEVs. O algoritmo Q-learning lida com problemas de espaço de estado de alta dimensão, e o agente terá um problema de “desastre dimensional” durante o processo de treinamento. Então, uma estratégia de controle baseada no algoritmo Deep Q Network (DQN) é introduzida. Como o DQN só pode gerar ações discretas, para atingir o controle contínuo de ações, uma estratégia de controle otimizada baseada no algoritmo Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) é proposta. Os resultados da simulação mostram que, em comparação com os algoritmos Q-learning e DQN, o algoritmo DDPG converge mais rápido, e o processo de treinamento é mais robusto. Além disso, a estratégia de controle de otimização de energia baseada no algoritmo DDPG pode controlar melhor a energia dos HEVs.

## **Estudo**

**Data de execução:** 27/03/2025

**Local:**

**Tipo:**

**Descrição:**

**Hipóteses avaliadas:**

**Variáveis independentes:**

**Variáveis dependentes:**

**Participantes:**

**Material:**

**Planejamento do estudo:**

**Ameaças à validade:**

**Resultados:**

**Comentários adicionais:**

**Referências relevantes**

**Justificativa:**

**3º)**

**Título do Artigo:**

**Autores:**

**Data da Publicação:**

**Veículo de Publicação:**

**Fonte:**

**Abstract:**

**Resumo:**

**Estudo**

**Data de execução:**

**Local:**

**Tipo:**

**Descrição:**

**Hipóteses avaliadas:**

**Variáveis independentes:**

**Variáveis dependentes:**

**Participantes:**

**Material:**

**Planejamento do estudo:**

**Ameaças à validade:**

**Resultados:**

**Comentários adicionais:**

**Referências relevantes**

**Justificativa:**

**4°)**

**Título do Artigo:**

**Autores:**

**Data da Publicação:**

**Veículo de Publicação:**

**Fonte:**

**Abstract:**

**Resumo:**

**Estudo**

**Data de execução:**



**Local:**

**Tipo:**

**Descrição:**

**Hipóteses avaliadas:**

**Variáveis independentes:**

**Variáveis dependentes:**

**Participantes:**

**Material:**

**Planejamento do estudo:**

**Ameaças à validade:**

**Resultados:**

**Comentários adicionais:**

**Referências relevantes**

**Justificativa:**

**5°)**

**Título do Artigo:**

**Autores:**

**Data da Publicação:**

**Veículo de Publicação:**

**Fonte:**

**Abstract:**

**Resumo:**

**Estudo**

**Data de execução:**

**Local:**

**Tipo:**

**Descrição:**

**Hipóteses avaliadas:**

**Variáveis independentes:**

**Variáveis dependentes:**

**Participantes:**

**Material:**

**Planejamento do estudo:**

**Ameaças à validade:**

**Resultados:**

**Comentários adicionais:**

**Referências relevantes**

**Justificativa:**



## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Agrupamento, comparação e discussão crítica dos trabalhos relacionados

- Tabulação de resultados (Dados quantitativos)

<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>O que já foi publicado?</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Quais as teorias utilizadas por estudo?</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>O que é conhecido até recentemente sobre o tema?</b></li></ul>

- **Indicadores/Métricas/Critérios e seus valores**

**- Comparações críticas**

**- Lacunas existentes**

## REFERÊNCIAS

O. Menendez, F. Ruiz, D. Pesantez, J. Vasconez and J. Rodriguez, "Model-free Neural Network-based Current Control for Voltage Source Inverter," *2024 IEEE International Conference on Automation/XXVI Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*, Santiago, Chile, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICA-ACCA62622.2024.10766747. keywords:

{Current control; Training; Frequency modulation; Voltage source inverters; Neurons; Artificial neural networks; Control systems; Automatic voltage control; Frequency control; Load modeling; deep reinforcement learning; power converter; machine learning; neural networks},

F. Chen, P. Mei, H. Xie, S. Yang, B. Xu and C. Huang, "Reinforcement Learning-Based Energy Management Control Strategy of Hybrid Electric Vehicles," *2022 8th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, Xiamen, China, 2022, pp. 248-252, doi: 10.1109/ICCAR55106.2022.9782662. keywords:

{Training; Q-learning; Automation; Simulation; Aerospace electronics; Fuels; Hybrid electric vehicles; Hybrid electric vehicles; energy management strategy; Q-learning algorithm; Deep Q Network algorithm; Deep Deterministic Policy Gradient algorithm},