

# Método para Extensão de Primitivas Dinâmicas de Controle pela Reparametrização de Trajetórias

**Autor: Felipe Führ dos Reis**  
**Orientador: Bruno Castro da Silva**  
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
 felipefuhr7@gmail.com

## 1. Introdução

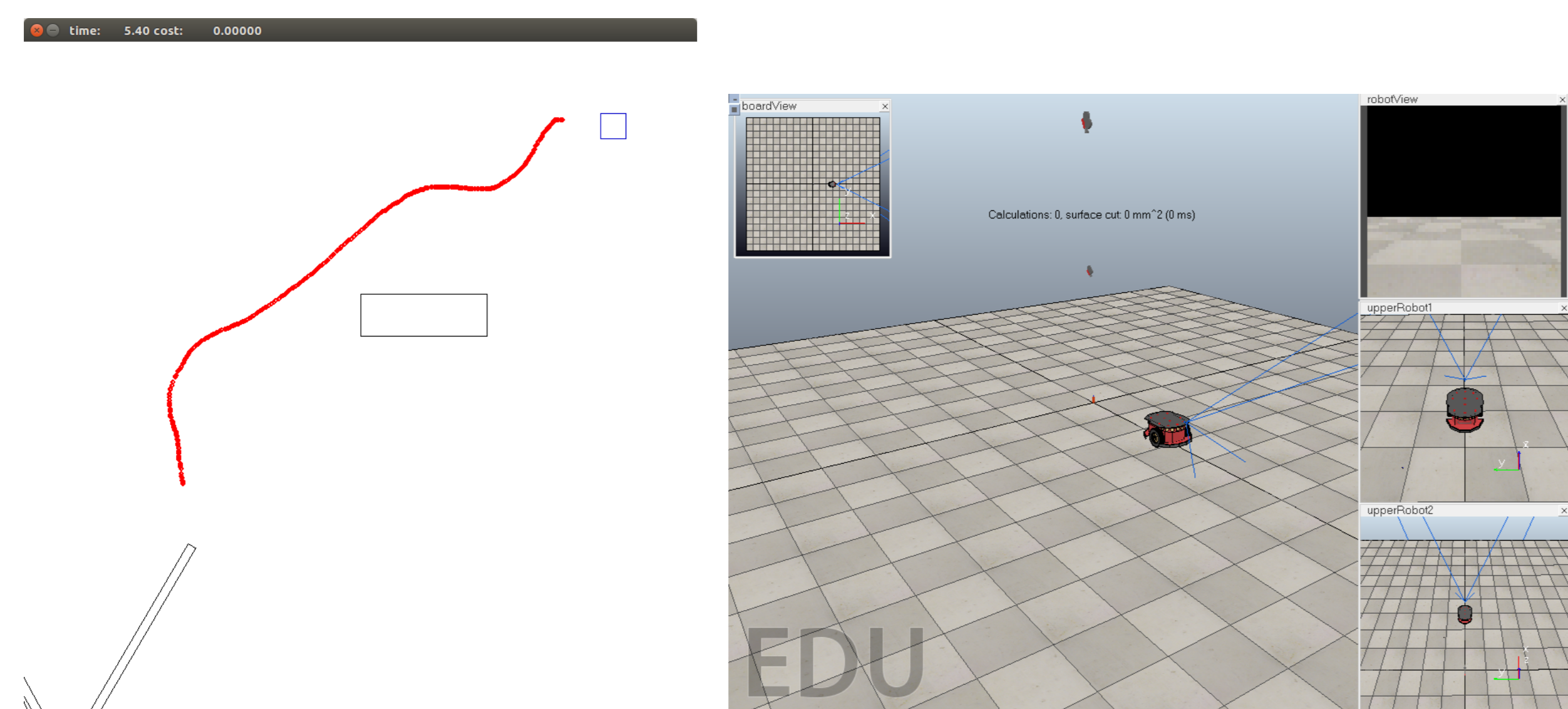
- Métodos de Aprendizado de Máquina otimizam o comportamento de robôs para **um único problema ou tarefa**;
- Muitas vezes um robô precisa resolver uma **seqüência ou família** de tarefas relacionadas;
- Possível solução: trajetórias motoras *flexíveis*
  - alteração de pontos inicial/final, amplitude, rotações da trajetória;
  - exemplos: curvas de *spline* e *Dynamic Movement Primitives* (DMPs);
- Iremos propor método mais flexível para representação de trajetórias:
  - permite a adaptação do comportamento do robô para que possa rapidamente solucionar novas tarefas.

## 2. Objetivos

- Desenvolvimento de novo método matemático **mais expressivo** para representação de trajetórias motoras;
  - estado-da-arte: re-parametrização *apenas* de estados finais e iniciais;
  - não é suficiente para expressar os comportamentos necessários para solucionar todas as tarefas de interesse;
- Iremos testar, avaliar e selecionar novas formulações matemáticas:
  - capazes de estender as capacidades providas por DMPs;
  - de forma a possibilitar o ajuste de um número pequeno (mas expressivo) de características de trajetória.

## 3. Atividades Desenvolvidas

- Implementação do framework de *Dynamic Movement Primitives* em Python;
- Implementação de simulador robótico nos ambientes Pymunk e V-REP;
- Implementação e teste de curvas B-Splines para representação de trajetórias motoras;
  - inclusão de novos parâmetros à formulação básica de B-Splines;
- Nova representação flexível proposta;
  - avaliação da sua capacidade de resolver tarefas inéditas;
  - comparação com a performance de B-Splines básicas e DMPs.



**Figure 1:** Simulação de trajetórias motoras. Ambiente Pymunk (esquerda) e V-REP (direita).

## 4. Resultados

- Implementação do framework de *Dynamic Movement Primitives*, utilizado em nossas simulações:

$$\tau v' = K(g - x) - Dv - K(g - x_0)\theta + Kf(\theta) \quad (1)$$

$$\tau x' = v \quad (2)$$

$$\tau \theta' = -\alpha \theta \quad (3)$$

$$f(\theta) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i \psi_i(\theta) \theta}{\sum_{i=0}^n \psi_i(\theta)} \quad (4)$$

- Implementação de B-Splines básicas (originalmente com expressividade limitada de re-parametrização):

$$C(t) = \sum_{i=0}^n N_{i,k}(t) P_i \quad (5)$$

onde  $P_i$ s são pontos de controle, e onde cada  $N$  é definido iterativamente como:

$$N_{i,j}(t) = \frac{t - t_i}{t_{i+j} - t_i} N_{i,j-1}(t) + \frac{t_{i+j+1} - t}{t_{i+j+1} - t_{i+1}} N_{i+1,j-1}(t) \quad (6)$$

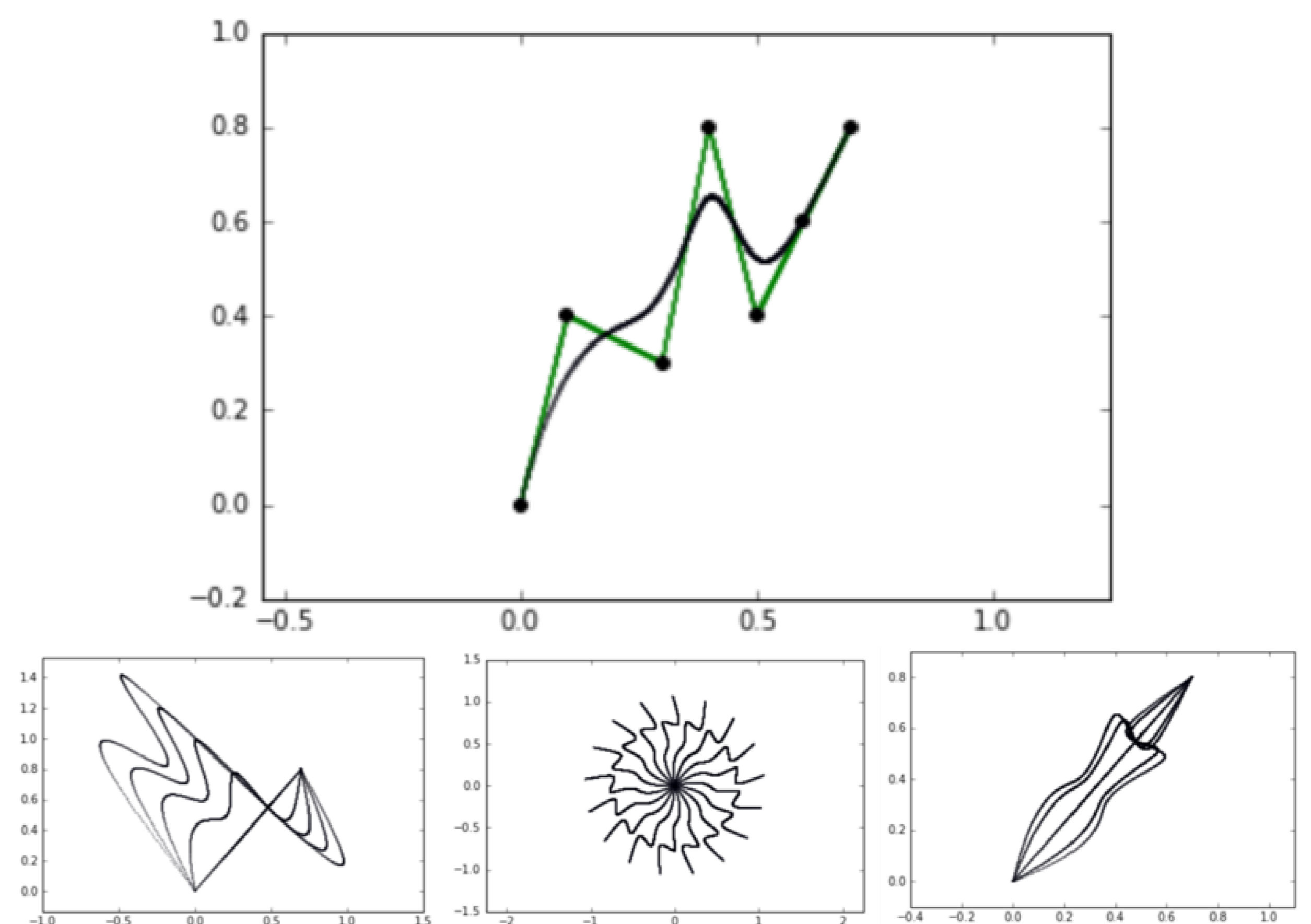
$$N_{i,0}(t) = \begin{cases} 1 & \text{se } t_i \leq t < t_{i+1} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (7)$$

- Extensão de B-Splines básicas para abrigar novas re-parametrizações:

$$C(t, \theta, \alpha, \phi) = \sum_{i=0}^n N_{i,k}(t) K(\theta, \alpha, \phi) P_i, \quad (8)$$

- Novos parâmetros adicionados ao *framework* proposto:

– translações, rotações, e modificação da amplitude em pontos intermediários da trajetória.



**Figure 2:** Trajetória base de demonstração (curva preta sólida na figura superior), anotada com os pontos de controle da B-Spline (pontos conectando diferentes locais na curva verde). Nas três figuras abaixo, apresenta-se o resultado da reparametrização da trajetória B-Spline base, fornecida por demonstração, em termos de sua amplitude e em dois tipos de rotação.