

## Trabalho de Formatura - Proposta de Tema 2024

### Projeto: PACTL-Sym - Planejador Simbólico para problemas com ações não-determinísticas

Supervisora: Profa. Leliane Nunes de Barros

**Planejamento Automatizado** (*Automated Planning*<sup>1</sup>) é uma subárea da **Inteligência Artificial** (IA) dedicada à pesquisa e ao desenvolvimento de algoritmos capazes de resolver, de forma autônoma, problemas de controle em um dado ambiente. Neste contexto, um *planejador automatizado* é um software desenvolvido para selecionar e organizar uma sequência de ações que, quando executadas a partir de um estado inicial do ambiente, garantem atingir um estado que satisfaça um conjunto de metas preestabelecidas. Este processo também é chamado de síntese de planos. O planejamento automatizado visa desenvolver formas gerais de síntese de planos, ou seja, independentes do domínio de aplicação, dado que seja possível que ele seja descrito em uma linguagem padrão, como por exemplo, a linguagem PDDL<sup>2</sup>.

O planejamento automatizado é capaz de resolver uma variedade de problemas complexos em diversas áreas, desde a automação de processos industriais até a navegação de veículos autônomos. Além disso, soluções mais recentes para problemas complexos combinam técnicas de planejamento automatizado com outras abordagens, dentre elas aprendizado de máquina, aprendizado por reforço e robótica. Como exemplo, podemos citar os veículos de exploração (*rover*) em Marte, projetados pela NASA. Os veículos Spirit e Opportunity<sup>3</sup>, que já encerraram suas missões, eram guiados por softwares que utilizam planejamento automatizado [1]. O veículo Curiosity<sup>4</sup>, que ainda está em operação, também utiliza técnicas de planejamento para operar de forma autônoma.

O PACTL-Sym (Planejador  $\alpha$ -CTL Simbólico) [2] é um sistema de planejamento automático, proposto por alunos de pós-graduação do IME, que resolve problemas de planejamento em ambientes completamente observáveis e não determinísticos (*Fully-Observable Non-Deterministic* - FOND). Por se tratar de um problema em que as ações possuem efeitos não determinísticos, a solução para um problema FOND é um plano ramificado, isto é, uma **política** que associa uma ação a cada estado alcançável. A política determina a ação mais apropriada para ser executada em cada estado e pode ser classificada em três tipos: **fraca** (uma política que eventualmente pode alcançar um estado meta), **forte** (uma política que, apesar do não determinismo, garante alcançar um estado meta) ou **forte-cíclica** (uma política que sempre alcança um estado meta pressupondo que sua execução eventualmente conseguirá sair de todos os ciclos existentes). A Figura 1 ilustra os diferentes tipos de políticas considerando domínios representados através de grafos em que os vértices correspondem aos estados e as

---

<sup>1</sup> A área de *Automated Planning*, é também chamada *AI Planning*.

<sup>2</sup> Note que, em IA, uma tarefa de planejamento envolve o raciocínio sobre um modelo do ambiente (seus estados e dinâmica, determinística, não-determinística ou estocástica), enquanto uma tarefa de aprendizado de máquina assume não ter acesso ao modelo mas somente a um conjunto de dados amostrados do ambiente. Técnicas recentes combinam planejamento com aprendizado de máquina.

<sup>3</sup> <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/mars-exploration-rovers/>

<sup>4</sup> <https://mars.nasa.gov/msl/home/>

arestas às ações que devem ser executadas em cada estado. Além de encontrar uma solução que leva o agente de um estado inicial até um estado que satisfaça a meta, o `PACTL-Sym` também constrói soluções que levam em consideração propriedades que devem ser satisfeitas ao longo do caminho para a meta. Por exemplo, considerando um agente capaz de explorar diferentes tipos de solos, a meta deste agente pode ser chegar a um ponto de referência, e sua meta de caminho pode ser coletar amostras de rocha até alcançar o estado final desejado.

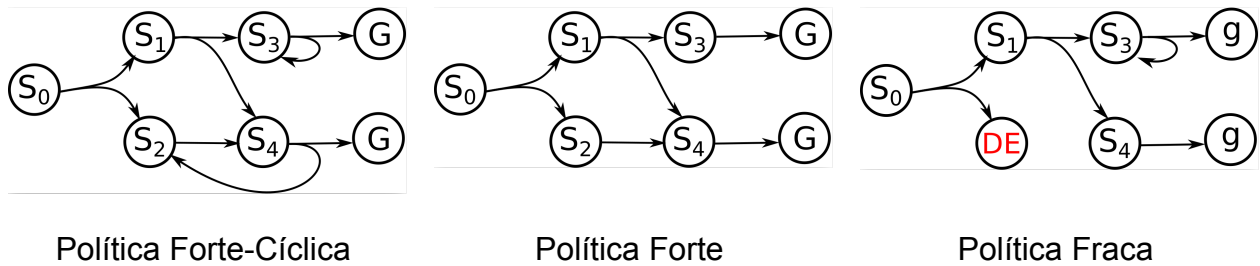


Figura 1 - Exemplos de políticas sintetizadas pelo planejador `PACTL-Sym`. Estados são representados através de vértices e ações através de arestas (com diferentes rótulos não mostrados na figura por simplicidade). Adaptado de [Symbolic FOND Planning for Temporally Extended Goals](#).

A arquitetura do `PACTL-Sym` é composta por dois módulos principais (Figura 2). Resumidamente, o módulo de síntese de política é responsável por realizar a busca por ações alternativas para alcançar a meta, enquanto o módulo de parser e pré-processamento é responsável por receber a descrição do domínio e do problema a ser resolvido, descritos na linguagem `PDDL` (*Planning Domain Description Language*) [3][4], e processar essa entrada convertendo-a em um único arquivo com os dados prontos para serem utilizados pelo módulo de síntese de política. Além da fase de *parser*, este módulo realiza um pré-processamento dos arquivos de entrada, extraindo informações que serão úteis na etapa de síntese da política. Uma característica importante do `PACTL-Sym` é que ele implementa um raciocínio simbólico, ou seja, ele é capaz de sintetizar políticas raciocinando sobre conjuntos de estados a cada iteração. Para isso, usamos uma estrutura de dados, e suas operações, chamada de `BDD` (*Binary Decision Diagram*) [5], o que o torna um planejador eficiente quando comparado a planejadores que usam técnicas clássicas de raciocínio temporal.

O objetivo deste TCC é estudar a linguagem `PDDL`, estudar técnicas para extrair informações do problema a partir da sua especificação em `PDDL`, estudar o uso de `BDDs` e implementar o módulo de parser do planejador `PACTL-Sym`, seguindo princípios essenciais da engenharia de software durante o seu desenvolvimento. A intenção é disponibilizar todo o código do planejador `Pactl-Sym` para que a comunidade de IA e outros interessados possam utilizá-lo. Para isso, recentemente o repositório do planejador foi organizado, e o módulo de síntese de política passou por um processo de refatoração (como um projeto da disciplina de Engenharia de Software - MAC0332). Portanto, é necessário que os novos módulos sejam implementados considerando que o código estará disponível em um repositório aberto. Neste sentido, algumas características

importantes do módulo deverão ser: (1) a implementação de um código limpo e (2) a geração de testes automatizados.

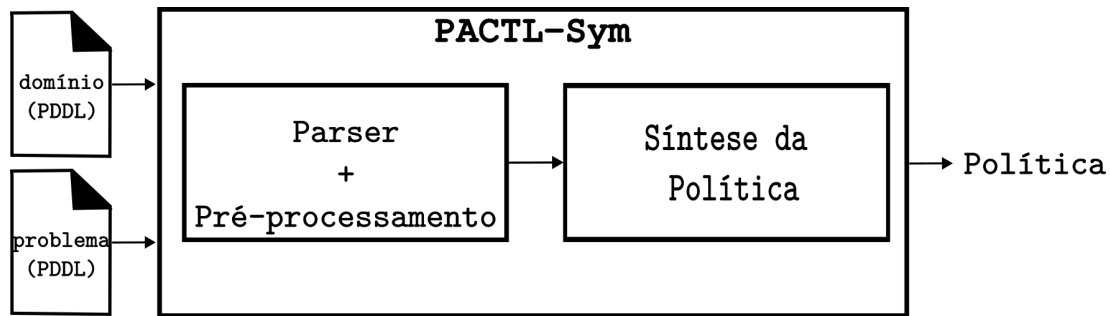


Figura 2 - Arquitetura do PACTL-Sym.

## Referências Bibliográficas

- [1] Carsten, J., Rankin, A., Ferguson, D., & Stentz, A. (2007, March). [Global path planning on board the mars exploration rovers. In 2007 IEEE Aerospace Conference](#) (pp. 1-11). IEEE.
- [2] Santos, V. B. D., Barros, L. N. D., Pereira, S. D. L., & Menezes, M. V. D. (2022). [Symbolic FOND planning for temporally extended goals](#). In ICAPS Workshop on Knowledge Engineering for Planning and Scheduling.
- [3] Aeronautiques, C., Howe, A., Knoblock, C., McDermott, I. D., Ram, A., Veloso, M., ... & Sun, Y. (1998). [PDDL: the planning domain definition language](#). Technical Report, Tech. Rep.
- [4] Haslum, P., Lipovetzky, N., Magazzeni, D., Muise, C., Brachman, R., Rossi, F., & Stone, P. (2019). [An introduction to the planning domain definition language](#) (Vol. 13). San Rafael, California: Morgan & Claypool.
- [5] Akers. (1978). [Binary decision diagrams](#). *IEEE Transactions on computers*, 100(6), 509-516.