

# *LunarLander*

Modelação, Desenvolvimento e Implementação de  
Sistema de Produções



Fundamentos de Inteligência Artificial  
14 de março de 2025

Luana Carolina Cunha Reis, nº 2022220606  
Cristiano David Nascimento Domingues Santos, nº 2022219696  
Carlos Manuel Gomes da Fonseca Augusto Pereira, nº 2022232042

## 1. Introdução

Neste relatório é descrita a modelação de um agente reativo para o *Lunar Lander*, uma nave espacial que deve garantir uma aterragem segura dentro de uma plataforma delimitada por bandeiras.

Para atingir este objetivo, serão definidos conjuntos de perceções sobre o estado da nave e ações, bem como um sistema de produções que irá guiar o comportamento do agente, de acordo com as circunstâncias. A implementação final inclui:

- Correção da posição e inclinação antes da aterragem;
- Ajuste dinâmico da propulsão para estabilização e desaceleração;
- Compensação de vento para evitar desvio da trajetória;
- Sistema contínuo de ajuste de motores, sem uso de valores fixos pré-definidos.

## 2. Definição das Perceções e Ações

### 2.1. Perceções

O agente reativo vai receber como *input* um vetor de valores reais que representam o estado da nave no ambiente em que se encontra:

Variável	Descrição
Px	Posição horizontal relativamente ao centro (negativa à esquerda, positiva à direita)
Py	Posição vertical relativamente ao solo
Vx	Velocidade horizontal (negativa ao mover-se para a esquerda, positiva ao mover-se para a direita)
Vy	Velocidade vertical (negativa quando desce, positiva quando sobe)
A	Orientação da nave/ Direção angular (negativa quando inclinada para a direita, positiva quando inclinada para a esquerda)
Va	Velocidade angular (rotação negativa no sentido horário, rotação positiva no sentido anti-horário)
L	Perna esquerda toca no solo (0 ou 1)
R	Perna direita toca no solo (0 ou 1)

## 2.2. Condições de aterragem bem sucedida

A aterragem é considerada bem sucedida quando:

- Ambas as pernas tocam no chão ( $L = 1$  e  $R = 1$ );
- A nave está dentro dos limites da plataforma ( $|Px| \leq 0.2$ );
- A nave está estável ( $Vy > -0.2$  e  $|A| < 20^\circ$ ).

## 2.3. Ações

As ações do agente vão ser representadas por um vetor com dois valores reais: o primeiro controla o acelerador do motor principal e o segundo controla os motores secundários (esquerdo e direito).

### **Motor principal**

- Responsável pelo controlo da propulsão vertical
- Ativado para valores entre 0.5 e 1.0

### **Motores secundários**

- Responsável pelo controlo da rotação e deslocamento lateral
- Motor esquerdo ativado para valores entre 0.5 e 1.0 (rotação para a direita)
- Motor direito ativado para valores entre -1 e -0.5 (rotação para a esquerda)

### **Motor principal (Mp - controla propulsão vertical)**

- Motor principal (Mp) = 0.0 (Desligado)
- Motor principal (Mp) = 0.51 (Propulsão mínima)
- Motor principal (Mp) = 1.0 (Propulsão máxima)

### **Motores Secundários (Ms - controlam rotação)**

- Motores secundários (Ms) = 0.0 (Desligado)

### **Motor esquerdo (roda para a direita)**

- Motor esquerdo (Mse) = 0.51 (potência mínima)
- Motor esquerdo (Mse) = 1.00 (potência máxima)

### **Motor direito (roda para a esquerda)**

- Motor direito (Msd) = -0.51 (potência mínima)
- Motor direito (Msd) = -1.00 (potência máxima)

### 3. Modelação do comportamento da nave através de sistema de produções

1.1.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$ ,  $-0.05 < P_x < 0.05$ ,  $A < -0.05$

(A nave está a descer rapidamente e precisa estabilizar-se para a direita)

1.1.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$ ,  $M_{sd} = 0.51$

(Ativa o motor principal e o motor direito, para reduzir a velocidade de descida e estabilizar)

1.2.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$ ,  $-0.05 < P_x < 0.05$ ,  $A > 0.05$

(A nave está a descer rapidamente e precisa estabilizar-se para a esquerda)

1.2.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$ ,  $M_{se} = 0.51$

(Ativa o motor principal e o motor esquerdo, para reduzir a velocidade de descida e estabilizar)

1.3.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$ ,  $-0.05 < P_x < 0.05$

(A nave está a descer rapidamente, mas não precisa de estabilização)

1.3.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$

(Ativa apenas o motor principal, para reduzir a velocidade de descida)

1.4.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$ ,  $P_x < -0.05$ ,  $V_x < 0.2$ ,  $A < -0.05$

(A nave está a descer rapidamente, à esquerda, e inclinada para a direita)

1.4.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$ ,  $M_{se} = 0.51 + |V_x|$ ,  $M_{sd} = 0.51$

(Aplica impulso no motor principal, no motor esquerdo para corrigir direção, e no motor direito para estabilizar)

1.5.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$ ,  $P_x < -0.05$ ,  $V_x < 0.2$ ,  $A > 0.35$

(A nave está a descer rapidamente, à esquerda, e muito inclinada para a esquerda)

1.5.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$ ,  $M_{se} = 0.51 + |V_x|$

(Aplica impulso no motor principal e no motor esquerdo para corrigir direção)

1.6.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$ ,  $P_x < -0.05$ ,  $V_x < 0.2$

(A nave está a descer rapidamente e está à esquerda)

1.6.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$ ,  $M_{se} = 0.51 + |V_x|$

(Aplica impulso no motor principal e no motor esquerdo para corrigir direção)

1.7.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$ ,  $P_x > 0.05$ ,  $V_x > -0.2$ ,  $A < -0.35$   
(A nave está a descer rapidamente, está à direita, e muito inclinada para a direita)

1.7.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$ ,  $M_{sd} = -(0.51 + |V_x|)$   
(Aplica impulso no motor principal e no motor direito para corrigir direção e estabilizar)

1.8.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$ ,  $P_x > 0.05$ ,  $V_x > -0.2$ ,  $A > 0.05$   
(A nave está a descer rapidamente, está à direita, e inclinada para a esquerda)

1.8.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$ ,  $M_{sd} = -(0.51 + |V_x|)$ ,  $M_{se} = 0.51$   
(Aplica impulso no motor principal, no motor direito para corrigir direção, e no motor esquerdo para estabilizar)

1.9.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$ ,  $P_x > 0.05$ ,  $V_x > -0.2$   
(A nave está a descer rapidamente e está à direita)

1.9.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$ ,  $M_{sd} = -(0.51 + |V_x|)$   
(Aplica impulso no motor principal e no motor direito para corrigir direção)

1.10.1. **Condição:**  $V_y < -0.4$ ,  $L = 0$ ,  $R = 0$   
(A nave está a descer rapidamente e precisa de estabilização geral)

1.10.2. **Ação:**  $M_p = 0.51$   
(Ativa apenas o motor principal para reduzir a velocidade de descida)

1.11.1. **Condição:**  $-0.05 < P_x < 0.05$ ,  $A < -0.05$   
(A nave está centrada horizontalmente, mas inclinada para a direita)

1.11.2. **Ação:**  $M_{sd} = -0.51$   
(Ativa o motor direito para estabilizar a inclinação)

1.12.1. **Condição:**  $-0.05 < P_x < 0.05$ ,  $A > 0.05$   
(A nave está centrada horizontalmente, mas inclinada para a esquerda)

1.12.2. **Ação:**  $M_{se} = 0.51$   
(Ativa o motor esquerdo para estabilizar a inclinação)

1.13.1. **Condição:**  $P_x < -0.05$ ,  $V_x < 0.2$ ,  $V_y < 0$ ,  $A < -0.05$   
(A nave está a descer rapidamente e inclinada para a direita, com deslocamento à esquerda)

1.13.2. **Ação:**  $M_{se} = 0.51 + |V_x|$ ,  $M_p = 0.51$ ,  $M_{sd} = -0.51$   
(Ativa os motores esquerdo e direito para corrigir a posição e estabilizar a nave e o principal para se deslocar na direção certa)

1.14.1. **Condição:**  $P_x < -0.05$ ,  $V_x < 0.2$ ,  $V_y < 0$ ,  $A > 0.35$

(A nave está a descer rapidamente, inclinada para a esquerda, com deslocamento à esquerda)

1.14.2. **Ação:**  $M_{se} = 0.51 + |V_x|$ ,  $M_p = 0.51$ ,  $M_{sd} = -0.51$

(Ativa os motores esquerdo e direito para corrigir a posição e estabilizar a nave e o principal para se deslocar na direção certa)

1.15.1. **Condição:**  $P_x < -0.05$ ,  $V_x < 0.2$ ,  $V_y < 0$

(A nave está a descer lentamente e a deslocar-se à esquerda)

1.15.2. **Ação:**  $M_{se} = 0.51 + |V_x|$ ,  $M_p = 0.51$

(Ativa o motor esquerdo para corrigir a posição e o motor principal para estabilizar)

1.16.1. **Condição:**  $P_x < -0.05$ ,  $V_x < 0.2$ ,  $A < -0.05$

(A nave está a descer lentamente, a deslocar-se à esquerda e inclinada para a direita)

1.16.2. **Ação:**  $M_{se} = 0.51 + |V_x|$ ,  $M_{sd} = -0.51$

(Ativa os motores esquerdo e direito para corrigir a posição e a inclinação)

1.17.1. **Condição:**  $P_x < -0.05$ ,  $V_x < 0.2$ ,  $A > 0.35$

(A nave está a descer lentamente, a deslocar-se à esquerda e inclinada para a esquerda)

1.17.2. **Ação:**  $M_{se} = 0.51 + |V_x|$ ,  $M_{sd} = -0.51$

(Ativa os motores esquerdo para corrigir a posição e a inclinação)

1.18.1. **Condição:**  $P_x < -0.05$ ,  $V_x < 0.2$

(A nave está a descer lentamente e a deslocar-se à esquerda)

1.18.2. **Ação:**  $M_{se} = 0.51 + |V_x|$

(Ativa o motor esquerdo para corrigir a posição)

1.19.1. **Condição:**  $P_x < -0.05$ ,  $A < -0.05$

(A nave está a deslocar-se à esquerda e inclinada para a direita)

1.19.2. **Ação:**  $M_{sd} = -0.51$

(Ativa o motor direito para corrigir a inclinação)

1.20.1. **Condição:**  $P_x < -0.05$ ,  $A > 0.05$

(A nave está a deslocar-se à esquerda e inclinada para a esquerda)

1.20.2. **Ação:**  $M_{se} = 0.51$

(Ativa o motor esquerdo para corrigir a inclinação)

1.21.1. **Condição:**  $P_x > 0.05$ ,  $V_x > -0.2$ ,  $V_y < 0$ ,  $A < -0.35$   
(A nave está a descer rapidamente, está à direita e inclinada para a direita)

1.21.2. **Ação:**  $M_{sd} = -(0.51 + |V_x|)$ ,  $M_p = 0.51$ ,  $M_{sd} = -0.51$   
(Ativa os motores direito e principal para corrigir a direção e estabilizar)

1.22.1. **Condição:**  $P_x > 0.05$ ,  $V_x > -0.2$ ,  $V_y < 0$ ,  $A > 0.05$   
(A nave está a descer rapidamente, está à direita e inclinada para a esquerda)

1.22.2. **Ação:**  $M_{sd} = -(0.51 + |V_x|)$ ,  $M_p = 0.51$ ,  $M_{se} = 0.51$   
(Ativa os motores direito e esquerdo para corrigir a direção e estabilizar)

1.23.1. **Condição:**  $P_x > 0.05$ ,  $V_x > -0.2$ ,  $V_y < 0$   
(A nave está a descer rapidamente e está à direita)

1.23.2. **Ação:**  $M_{sd} = -(0.51 + |V_x|)$ ,  $M_p = 0.51$   
(Ativa os motores direito e principal para estabilizar a posição)

1.24.1. **Condição:**  $P_x > 0.05$ ,  $V_x > -0.2$ ,  $A < -0.35$   
(A nave está a descer rapidamente, está à direita e inclinada para a direita)

1.24.2. **Ação:**  $M_{sd} = -(0.51 + |V_x|)$ ,  $M_{sd} = -0.51$   
(Ativa os motores direito para corrigir a direção)

1.25.1. **Condição:**  $P_x > 0.05$ ,  $V_x > -0.2$ ,  $A > 0.05$   
(A nave está a descer rapidamente, está à direita e inclinada para a esquerda)

1.25.2. **Ação:**  $M_{sd} = -(0.51 + |V_x|)$ ,  $M_{se} = 0.51$   
(Ativa os motores direito e esquerdo para corrigir a direção e estabilizar)

1.26.1. **Condição:**  $P_x > 0.05$ ,  $V_x > -0.2$   
(A nave está a descer rapidamente e está à direita)

1.26.2. **Ação:**  $M_{sd} = -(0.51 + |V_x|)$   
(Ativa apenas o motor direito para estabilizar a posição)

1.27.1. **Condição:**  $P_x > 0.05$ ,  $A < -0.05$   
(A nave está a deslocar-se à direita e inclinada para a direita)

1.27.2. **Ação:**  $M_{sd} = -0.51$   
(Ativa o motor direito para corrigir a inclinação)

1.28.1. **Condição:**  $P_x > 0.05$ ,  $A > 0.05$

(A nave está a deslocar-se à direita e inclinada para a esquerda)

1.28.2. **Ação:**  $M_{se} = 0.51$

(Ativa o motor esquerdo para corrigir a inclinação)

1.29.1. **Condição:**  $L = 1$ ,  $R = 1$ ,  $P_x < -0.2$

(A nave pousou, mas está muito à esquerda)

1.29.2. **Ação:**  $M_{se} = 1$

(Ativa o motor esquerdo para corrigir a posição)

1.30.1. **Condição:**  $L = 1$ ,  $R = 1$ ,  $P_x > 0.2$

(A nave pousou, mas está muito à direita)

1.30.2. **Ação:**  $M_{sd} = -1$

(Ativa o motor direito para corrigir a posição)

## 5. Constantes e valores usados

- $\text{max\_safe\_speed} = -0.4$
- $\text{variacao\_A} = 0.05$
- $|V_x| = 0.2$
- $P_x = -0.05$  e  $0.05$  ||  $-0.2$  e  $0.2$

Com as incontáveis tentativas e observações que realizámos, foi-nos possível encontrar os valores para que a nave tivesse o melhor comportamento e conseguisse aterrar, começando pelo  $\text{max\_safe\_speed}$  (usado com o  $V_y$ ). O primeiro valor usado foi  $-0.2$ , que é o necessário para que a aterragem seja considerada bem sucedida. No entanto, ao experimentar com valores maiores, até  $-0.4$ , vimos a taxa de sucesso aumentar. A  $\text{variacao\_A}$  é o limite que definimos para a inclinação máxima da nave. Este intervalo é bastante reduzido ( $-0.05$  a  $0.05$ ), o que faz com que a nave esteja bastante mais equilibrada. À semelhança do valor inicial usado para o  $V_y$ , usamos o mesmo para o  $V_x$ , a velocidade máxima horizontal que queremos que a nave atinja, causando um ajuste mais suave até que esta se encontre no intervalo  $P_x$  desejado. Este intervalo foi inicialmente de  $-0.2$  a  $0.2$  e decidimos mudar para  $-0.05$  a  $0.05$ , pois assim a nave encontra-se muito mais centrada dentro das bandeiras, antes de fazer mais movimentos, prevenindo assim uma instabilidade desnecessária na nave.

## 4. Observações e conclusões retiradas

Ao longo da elaboração do trabalho, fomos sempre procurando alcançar uma taxa de sucesso cada vez maior. Com este Sistema de Produções final, atingimos uma taxa de sucesso em torno de 75% e com uma média de “steps” em torno de 31000. A nossa abordagem foi tentar que a inclinação da nave fosse nula antes de tentarmos aterrar a mesma. Com isso, priorizamos sempre a estabilidade angular da nave. Uma vez estabilizada, vai descendo na direção das bandeiras. O que reparámos que acontecia frequentemente era que a nave aterrava perto das bandeiras. No entanto, contava como “Aterragem Falhada”. Por isso, se a nave já estiver com as pernas a tocar no chão, ativamos o respetivo motor secundário, fazendo com que a nave deslize até às bandeiras.

Para 1000 testes realizados, tivemos diferentes dificuldades. O que se sucedeu mais vezes foi o facto dos motores, quando estão a tentar mover a nave para o interior das bandeiras (eixo x) , ao mesmo tempo que os motores secundários tentam compensar o equilíbrio da nave, fazem com que a mesma perca a estabilidade e acabe por não conseguir aterrar nas condições pretendidas.

Numa das nossas tentativas, acabámos por chegar a taxas de sucesso em torno dos 90%. Porém, chegámos à conclusão que a forma como o sistema de produções estava construído não era a correta e percebemos assim que mais valia abdicar um pouco da taxa de sucesso em prol de uma construção sólida e seguindo o que era pretendido.

## 5. Conclusão

Com base nas regras anteriormente definidas, é possível modelar o agente reativo de forma a controlar a nave de forma gradual, até atingir o pretendido na implementação prática. É essencial efetuar esta definição de perceções e ações, pois a existência de um comportamento adaptativo é essencial para evitar a destruição da nave ao tentar aterrar.