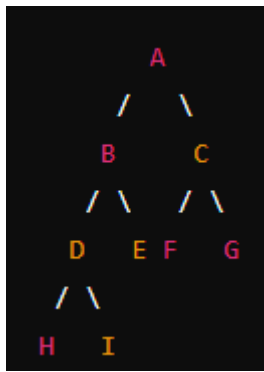


## UFPA - FACOMP - Inteligência Artificial - Lista de Exercícios para Prova 1

1. Explique o conceito de Inteligência Artificial (IA) e descreva três de suas principais subáreas, destacando o foco de estudo de cada uma. Em sua resposta, discorra também sobre como essas subáreas podem interagir em uma aplicação prática, proporcionando uma solução inovadora para um problema do mundo real.
2. Explique como um agente inteligente interage com seu ambiente e descreva as diferentes categorias de ambientes em que um agente pode operar. Em sua resposta, forneça exemplos de aplicações práticas para pelo menos três dessas categorias de ambientes, destacando como a escolha do ambiente influencia o design do agente.
3. Para cada uma das atividades listadas a seguir, forneça uma descrição PEAS (Medida de Desempenho, Ambiente, Atuadores, Sensores) do ambiente de tarefa e caracterize-o em termos das seguintes propriedades: completamente observável vs. parcialmente observável, agente único vs. multiagente, determinístico vs. estocástico, episódico vs. sequencial, estático vs. dinâmico, discreto vs. contínuo, conhecido vs. desconhecido:
  - a. Dirigir um carro autônomo em uma cidade movimentada.
  - b. Fazer compras de supermercado online.
  - c. Jogar xadrez contra um adversário humano.
4. Descreva o problema a seguir em termos de estado inicial, ações, modelo de transição, teste de objetivo e custo do caminho:

Um macaco chamado Donkey Kong, com altura de 1 metro, está em uma sala onde há bananas penduradas no teto a uma altura de 2,5 metros. Para alcançar as bananas, o macaco pode usar duas caixas, cada uma com 1 metro de altura, que podem ser movidas, empilhadas e escaladas.
5. Descreva os principais critérios utilizados para comparar algoritmos de busca em Inteligência Artificial. Em sua resposta, explique cada critério e discuta como eles podem influenciar a escolha de um algoritmo de busca específico para resolver problemas em diferentes contextos. Além disso, forneça exemplos de algoritmos que se destacam em um ou mais desses critérios e discuta suas aplicações práticas.
6. Considere o seguinte espaço de estados representado por uma árvore, onde o nó raiz é o estado inicial e cada nó possui dois filhos. O espaço de estados é descrito abaixo:

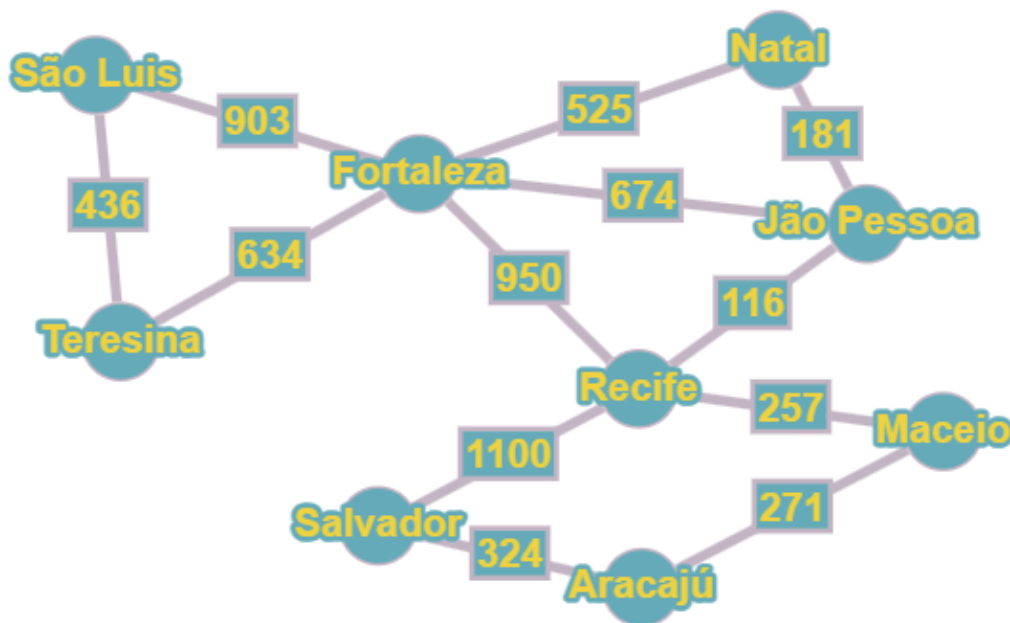


Você é solicitado a explorar este espaço de estados usando os seguintes algoritmos de busca:

1. **Busca em Profundidade (Depth-First Search - DFS):** Descreva a ordem em que os nós serão visitados pela busca em profundidade, assumindo que a exploração dos filhos é feita da esquerda para a direita.
2. **Busca em Largura (Breadth-First Search - BFS):** Descreva a ordem em que os nós serão visitados pela busca em largura.

**Responda:**

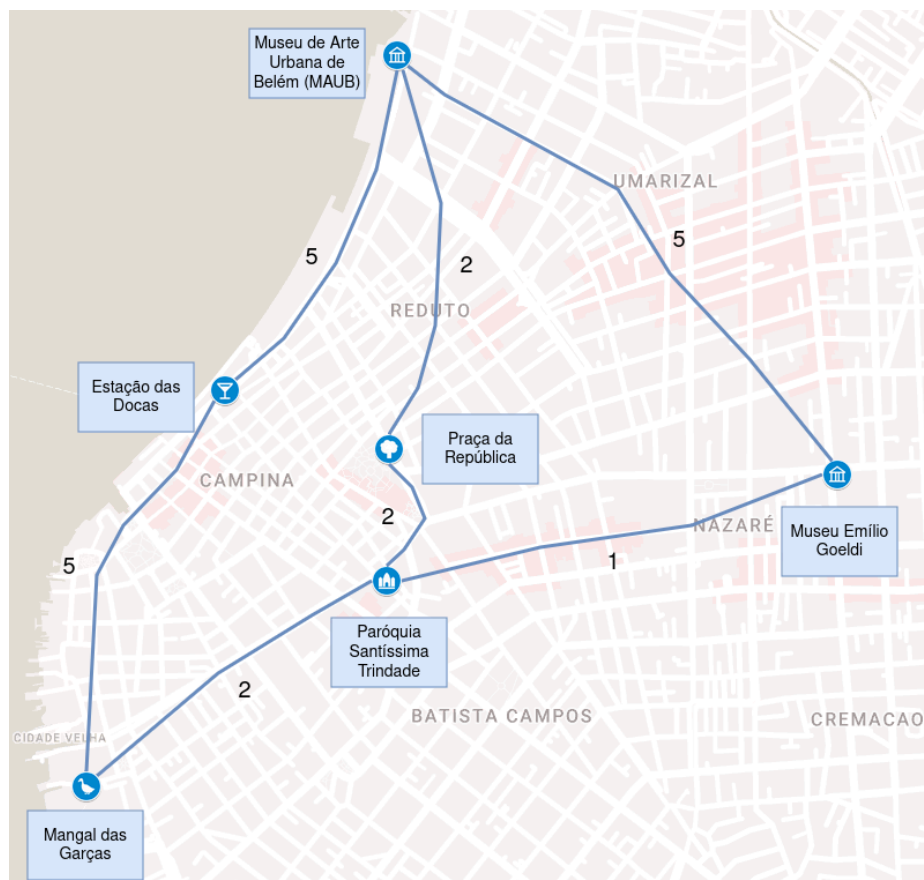
- a) Qual é a ordem de visita dos nós para cada um dos algoritmos de busca mencionados?
  - b) Quais são as vantagens e desvantagens de cada método em termos de uso de memória e profundidade de busca?
7. Considere o grafo abaixo e faça o que se pede



- a) Aplique a BUSCA-EM-GRAFO (consultar slides da aula sobre agentes de resolução de problemas) e encontre a sequência de ações que deve ser executada para sair do estado inicial **São Luís** e alcançar o Destino **Salvador**. Use a ordem alfabética para selecionar as Cidades que estão na borda. Exemplo: Expandir(São Luís) = {Fortaleza, Teresina}. Nesse caso, a cidade Fortaleza seria selecionada. Aplique a busca de custo uniforme saindo da Cidade de **São Luís** e chegando a cidade de **Salvador**. Qual o caminho e o custo total encontrados?
- b) Aplique a BUSCA-EM-GRAFO (consultar slides da aula sobre agentes de resolução de problemas) e encontre a sequência de ações que deve ser executada para sair do estado inicial **São Luís** e alcançar o Destino **Salvador**. Use a ordem alfabética para selecionar as Cidades que estão na borda. Exemplo: Expandir(São Luís) = {Fortaleza, Teresina}. Nesse caso, a cidade Fortaleza seria selecionada.

8. Explique o papel das funções heurísticas em algoritmos de busca informada e discuta como elas influenciam o desempenho e a precisão de algoritmos como a Busca Gulosa e a Busca A\*. Em sua resposta, defina o conceito de heurística admissível e sua importância, e forneça exemplos de situações em que a escolha de uma heurística pode afetar significativamente a eficácia de um algoritmo de busca.

9. Considere os percursos culturais abaixo, onde o Mangal das Garças é ponto de partida e o Museu de Arte Urbana de Belém é o destino final. Os rótulos nas rotas indicam o custo de percorrê-las.



A tabela abaixo apresenta três heurísticas:  $h_0$ ,  $h_1$  e  $h_2$ .

Ponto turístico	$h_0$	$h_1$	$h_2$
Mangal das Garças (MG)	0	5	6
Estação das Docas (ED)	0	3	5
Paróquia Santíssima Trindade (PST)	0	4	2
Praça da República (PR)	0	2	5
Museu Emílio Goeldi (MEG)	0	5	3
Museu de Arte Urbana de Belém (MAUB)	0	0	0

- Quais são os nós expandidos pela busca A\* usando cada uma das heurísticas.
- Qual a solução (caminho) encontrada por cada uma delas?
- Quais das heurísticas são admissíveis?

Respostas:

1. Explique o conceito de Inteligência Artificial (IA) e descreva três de suas principais subáreas, destacando o foco de estudo de cada uma. Em sua resposta, discorra também sobre como essas subáreas podem interagir em uma aplicação prática, proporcionando uma solução inovadora para um problema do mundo real.

A **Inteligência Artificial (IA)** é um ramo da ciência da computação que se concentra na criação de sistemas capazes de realizar tarefas que, quando realizadas por seres humanos, requerem inteligência. Isso inclui capacidades como percepção, raciocínio, aprendizado, interação com o ambiente, e até a tomada de decisões complexas.

Três das principais subáreas da IA incluem:

1. **Aprendizado de Máquina (Machine Learning):** Essa subárea se dedica a desenvolver algoritmos que permitem aos computadores aprenderem e melhorarem automaticamente a partir de dados. O foco está em criar modelos que consigam identificar padrões e fazer previsões com base em dados históricos.
2. **Processamento de Linguagem Natural (Natural Language Processing - NLP):** O NLP foca na interação entre computadores e seres humanos por meio da linguagem natural. Ele permite que as máquinas entendam, interpretem e gerem linguagem humana, possibilitando aplicações como assistentes virtuais, tradutores automáticos e chatbots.
3. **Visão Computacional:** Essa subárea busca desenvolver técnicas para permitir que as máquinas interpretem e compreendam o conteúdo de imagens e vídeos. Isso é crucial para aplicações como reconhecimento facial, análise de imagens médicas e veículos autônomos.

Na prática, essas subáreas podem ser combinadas para criar soluções inovadoras. Por exemplo, no desenvolvimento de um assistente médico digital, o aprendizado de máquina pode ser usado para diagnosticar doenças a partir de dados de pacientes; o processamento de linguagem natural pode permitir a comunicação entre o assistente e os pacientes em linguagem natural; e a visão computacional pode ser utilizada para analisar imagens médicas, como radiografias ou ressonâncias magnéticas. A integração dessas tecnologias cria uma ferramenta poderosa que pode melhorar significativamente a eficiência e a eficácia dos cuidados de saúde.

2. Explique como um agente inteligente interage com seu ambiente e descreva as diferentes categorias de ambientes em que um agente pode operar. Em sua resposta, forneça exemplos de aplicações práticas para pelo menos três dessas categorias de ambientes, destacando como a escolha do ambiente influencia o design do agente.

Os ambientes em que agentes inteligentes operam podem ser classificados em diferentes categorias, cada uma influenciando o comportamento e o design do agente:

1. **Completamente Observável vs. Parcialmente Observável:**

- **Completamente Observável:** O agente tem acesso a todas as informações necessárias sobre o estado atual do ambiente. Um exemplo prático é um jogo de xadrez, onde todas as peças e suas posições são visíveis.
- **Parcialmente Observável:** O agente tem acesso limitado às informações do ambiente. Um exemplo é a condução autônoma, onde o veículo deve operar com informações parciais devido a obstruções ou condições climáticas.

2. **Determinístico vs. Estocástico:**

- **Determinístico:** As ações do agente determinam exatamente um único estado sucessor. Um exemplo é um robô industrial em uma linha de montagem que executa tarefas pré-programadas.
- **Estocástico:** Há incerteza nos resultados das ações do agente. Um exemplo é o mercado de ações, onde um agente de negociação deve lidar com a incerteza e a variabilidade do mercado.

3. **Episódico vs. Sequencial:**

- **Episódico:** As ações do agente são divididas em episódios distintos, onde as decisões em um episódio não afetam os seguintes. Um exemplo é a triagem de e-mails, onde cada e-mail é considerado individualmente.
- **Sequencial:** As ações têm consequências a longo prazo, e as decisões afetam o estado futuro. Um exemplo é a navegação de um robô em um ambiente desconhecido, onde cada movimento pode influenciar a trajetória futura.

4. **Estático vs. Dinâmico:**

- **Estático:** O ambiente não muda enquanto o agente está deliberando. Um exemplo é resolver um quebra-cabeça lógico.
- **Dinâmico:** O ambiente pode mudar enquanto o agente está deliberando. Um exemplo é um jogo de futebol, onde as condições mudam constantemente.

5. **Discreto vs. Contínuo:**

- **Discreto:** Há um número finito de estados e ações possíveis. Um exemplo é um jogo de tabuleiro como o xadrez.
- **Contínuo:** Os estados e as ações não são discretos, permitindo variações infinitas. Um exemplo é controlar um drone em voo.

6. **Conhecido vs. Desconhecido:**

- **Conhecido:** O agente sabe como o ambiente funciona e quais são as regras. Um exemplo é um sistema de gerenciamento de inventário.
- **Desconhecido:** O agente deve explorar para entender as regras do ambiente. Um exemplo é um robô explorando um planeta desconhecido.

A escolha do ambiente tem um impacto significativo no design do agente. Por exemplo, em um ambiente **parcialmente observável e dinâmico** como a condução autônoma, o agente deve ser capaz de lidar com incertezas e tomar decisões em tempo real, exigindo algoritmos de percepção robustos e planejamento em tempo real. Em contraste, em um ambiente **determinístico e estático** como a montagem de componentes em uma fábrica, o agente pode seguir um conjunto pré-determinado de instruções com pouca necessidade de adaptação. A compreensão dessas categorias ajuda os desenvolvedores a projetar agentes inteligentes que são bem adaptados aos seus ambientes específicos.

3. Para cada uma das atividades listadas a seguir, forneça uma descrição PEAS (Medida de Desempenho, Ambiente, Atuadores, Sensores) do ambiente de tarefa e caracterize-o em termos das seguintes propriedades: completamente observável vs. parcialmente observável, agente único vs. multiagente, determinístico vs. estocástico, episódico vs. sequencial, estático vs. dinâmico, discreto vs. contínuo, conhecido vs. desconhecido:

- a. Dirigir um carro autônomo em uma cidade movimentada.

**Medida de Desempenho:**

Chegar ao destino de forma segura e eficiente.

Obedecer às regras de trânsito.

Minimizar o tempo de viagem e o consumo de combustível.

Evitar colisões e proporcionar uma experiência confortável aos passageiros.

**Ambiente:**

Ruas e avenidas da cidade.

Veículos, pedestres e ciclistas.

Sinais de trânsito, semáforos e placas de sinalização.

Condições climáticas (chuva, neve, etc.).

**Atuadores:**

Volante para direção.

Pedais para aceleração e frenagem.

Indicadores e sinais de luz.

Sistema de navegação e comunicação.

**Sensores:**

Câmeras para visão ao redor do veículo.

Sensores de radar e LIDAR para detecção de objetos e distância.

GPS para localização e navegação.

Sensores de velocidade e aceleração.

### **Caracterização do Ambiente:**

Completamente Observável vs. Parcialmente Observável: **Parcialmente observável** (algumas informações, como a intenção de pedestres ou motoristas, podem ser desconhecidas).

Agente Único vs. Multiagente: **Multiagente** (interação com outros veículos e usuários da estrada).

Determinístico vs. Estocástico: **Estocástico** (incertezas devido ao comportamento dos outros motoristas, pedestres, e condições de tráfego).

Episódico vs. Sequencial: **Sequencial** (ações afetam estados futuros e o resultado da tarefa).

Estático vs. Dinâmico: **Dinâmico** (ambiente em constante mudança com tráfego, pedestres, e sinais).

Discreto vs. Contínuo: **Contínuo** (movimento fluido e ininterrupto).

Conhecido vs. Desconhecido: **Conhecido** (a infraestrutura da cidade é previamente mapeada, mas eventos imprevisíveis podem ocorrer).

- b. Fazer compras de supermercado online.

### **Medida de Desempenho:**

Selecionar os produtos desejados.

Minimizar custos totais (preços e taxas de entrega).

Garantir a qualidade dos produtos.

Eficiência no tempo de busca e finalização da compra.

### **Ambiente:**

Website ou aplicativo de compras online.

Estoque de produtos disponíveis.

Sistema de pagamento e entrega.

Ofertas e promoções.

### **Atuadores:**

Teclado e mouse para navegação.

Dispositivo de entrada para confirmações e pagamentos.

Interface de usuário para seleção de produtos.



**Sensores:**

Tela do computador ou smartphone para exibir informações.

Conexão à internet para acesso a dados atualizados.

Caracterização do Ambiente:

Completamente Observável vs. Parcialmente Observável: **Completamente observável** (todas as informações relevantes estão acessíveis na plataforma).

Agente Único vs. Multiagente: **Agente único** (a interação primária é entre o usuário e o sistema, embora existam múltiplos usuários acessando simultaneamente).

Determinístico vs. Estocástico: **Estocástico** (a disponibilidade de produtos e preços pode mudar devido a ofertas e demanda).

Episódico vs. Sequencial: **Sequencial** (a seleção de produtos e decisões de compra afetam etapas subsequentes).

Estático vs. Dinâmico: **Dinâmico** (atualizações em tempo real sobre preços e estoque).

Discreto vs. Contínuo: **Discreto** (processo de seleção e compra ocorre em etapas distintas).

Conhecido vs. Desconhecido: **Conhecido** (o site/aplicativo é uma plataforma previamente mapeada e conhecida).

- c. Jogar xadrez contra um adversário humano.

**Medida de Desempenho:**

Vencer o jogo.

Minimizar erros estratégicos.

Maximizar a eficácia das jogadas.

Controlar o tempo de jogo.

**Ambiente:**

Tabuleiro de xadrez com 64 casas.

Peças de xadrez (rei, rainha, torres, bispos, cavalos, peões).

Regras oficiais do xadrez.

**Atuadores:**

Mãos para mover as peças (físico) ou mouse para clique (virtual).

**Sensores:**

Visão para observar o tabuleiro e as peças (ou interface gráfica no caso de xadrez online).

**Caracterização do Ambiente:**

Completamente Observável vs. Parcialmente Observável: **Completamente observável** (todo o estado do tabuleiro está visível).

Agente Único vs. Multiagente: **Multiagente** (dois jogadores interagindo).

Determinístico vs. Estocástico: **Determinístico** (as regras e movimentos são fixos e previsíveis).

Episódico vs. Sequencial: **Sequencial** (cada movimento influencia o estado futuro do jogo).

Estático vs. Dinâmico: **Estático** (o estado do tabuleiro só muda com as ações dos jogadores).

Discreto vs. Contínuo: **Discreto** (movimentos em etapas distintas, casa a casa).

Conhecido vs. Desconhecido: **Conhecido** (as regras e o tabuleiro são completamente definidos e imutáveis).

4. Descreva o problema a seguir em termos de estado inicial, ações, modelo de transição, teste de objetivo e custo do caminho:

Um macaco chamado Donkey Kong, com altura de 1 metro, está em uma sala onde há bananas penduradas no teto a uma altura de 2,5 metros. Para alcançar as bananas, o macaco pode usar duas caixas, cada uma com 1 metro de altura, que podem ser movidas, empilhadas e escaladas.

**Estado Inicial:**

Macaco: Altura de 1 metro.

Caixas: Duas caixas, cada uma com 1 metro de altura, posicionadas no chão.

Bananas: Presas no teto a 2,5 metros de altura.

**Ações:**

Mover a Primeira Caixa:

Descrição: O macaco move uma caixa para a posição desejada (diretamente sob as bananas).

Empilhar a Segunda Caixa em Cima da Primeira:

Descrição: O macaco coloca a segunda caixa em cima da primeira, formando uma pilha.

Subir na Pilha de Caixas:

Descrição: O macaco sobe na pilha formada pelas duas caixas.

Modelo de Transição:

Estado Inicial → Após Mover a Caixa: A caixa está embaixo das bananas.

Estado Após Mover a Caixa → Após Empilhar a Caixa: A pilha de caixas tem 2 metros de altura.

Estado Após Empilhar a Caixa → Após Subir na Pilha: O macaco está a 3 metros de altura (1 metro do macaco + 2 metros das caixas).

Teste de Objetivo:

Objetivo: O macaco deve alcançar ou ultrapassar a altura de 2,5 metros para pegar as bananas.

Verificação: Confirmar se a altura total do macaco é de 3 metros após subir na pilha de caixas.

Custo de Caminho:

Mover a Primeira Caixa: 1 unidade

Empilhar a Segunda Caixa: 1 unidade

Subir na Pilha de Caixas: 1 unidade

Custo Total: 3 unidades

5. Descreva os principais critérios utilizados para comparar algoritmos de busca em Inteligência Artificial. Em sua resposta, explique cada critério e discuta como eles podem influenciar a escolha de um algoritmo de busca específico para resolver problemas em diferentes contextos. Além disso, forneça exemplos de algoritmos que se destacam em um ou mais desses critérios e discuta suas aplicações práticas.

### **Completeza:**

- Um algoritmo de busca é considerado completo se for garantido que ele encontrará uma solução, caso ela exista, no espaço de busca. Por exemplo, o algoritmo de busca em largura (Breadth-First Search, BFS) é completo para espaços de busca finitos, garantindo a descoberta da solução, se existente.

### **Otimização:**

- Um algoritmo é otimizado se ele sempre encontra a melhor solução (ou a solução de menor custo) quando existem múltiplas soluções. A busca A\* é um exemplo de

algoritmo otimizado, pois utiliza uma função heurística para priorizar caminhos de menor custo, encontrando soluções ótimas quando uma heurística admissível é usada.

### **Complexidade de Tempo:**

- Refere-se ao tempo necessário para o algoritmo encontrar uma solução, medido em termos do número de nós gerados ou expandidos durante o processo de busca. A eficiência temporal é crucial em problemas onde o tempo de resposta é crítico, como na navegação de robôs em ambientes dinâmicos. Algoritmos como a busca gulosa (Greedy Search) são projetados para reduzir o tempo de execução ao explorar rapidamente caminhos promissores.

### **Complexidade de Espaço:**

- Mede a quantidade de memória necessária para armazenar nós gerados ou expandidos durante a busca. Algoritmos como a busca em profundidade iterativa (Iterative Deepening Search) são preferidos em situações com restrições de memória, pois combinam a baixa complexidade de espaço da busca em profundidade com a completeza da busca em largura.

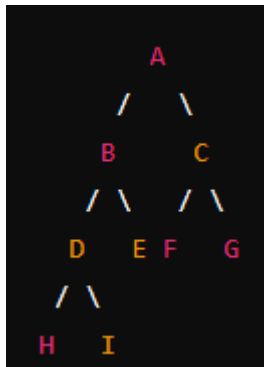
Esses critérios são fundamentais na escolha de um algoritmo de busca adequado para diferentes problemas e contextos.

Por exemplo, em um jogo de xadrez, onde o espaço de busca é vasto, mas as soluções (movimentos) precisam ser rápidas e de alta qualidade, a busca A\* pode ser utilizada com uma heurística bem projetada para encontrar o melhor movimento possível.

Já em um problema de planejamento de rotas para um veículo autônomo, onde o espaço é limitado, mas a memória pode ser uma restrição, a busca em profundidade iterativa pode ser a melhor escolha.

Cada algoritmo tem suas vantagens e desvantagens, e a escolha do mais apropriado depende do equilíbrio entre os critérios mencionados, levando em consideração as características específicas do problema a ser resolvido e as restrições do ambiente em que o agente opera.

7. Considere o seguinte espaço de estados representado por uma árvore, onde o nó raiz é o estado inicial e cada nó possui dois filhos. O espaço de estados é descrito abaixo:



Você é solicitado a explorar este espaço de estados usando os seguintes algoritmos de busca:

3. **Busca em Profundidade (Depth-First Search - DFS):** Descreva a ordem em que os nós serão visitados pela busca em profundidade, assumindo que a exploração dos filhos é feita da esquerda para a direita.
4. **Busca em Largura (Breadth-First Search - BFS):** Descreva a ordem em que os nós serão visitados pela busca em largura.

**Responda:**

a) Qual é a ordem de visita dos nós para cada um dos algoritmos de busca mencionados?

- DFS: A B D H I E C F G
- BFS: A B C D E F G H I

b) Quais são as vantagens e desvantagens de cada método em termos de uso de memória e profundidade de busca?

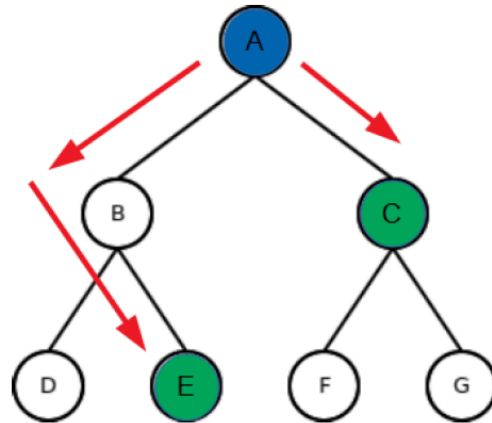
- **b**: número máximo de sucessores de qualquer nó
- **d**: a profundidade do nó objetivo menos profundo (mais raso)
- **m**: profundidade máxima da árvore

Ex.: o objetivo é encontrar um caminho de A até C ou E, temos que

**b** = 2

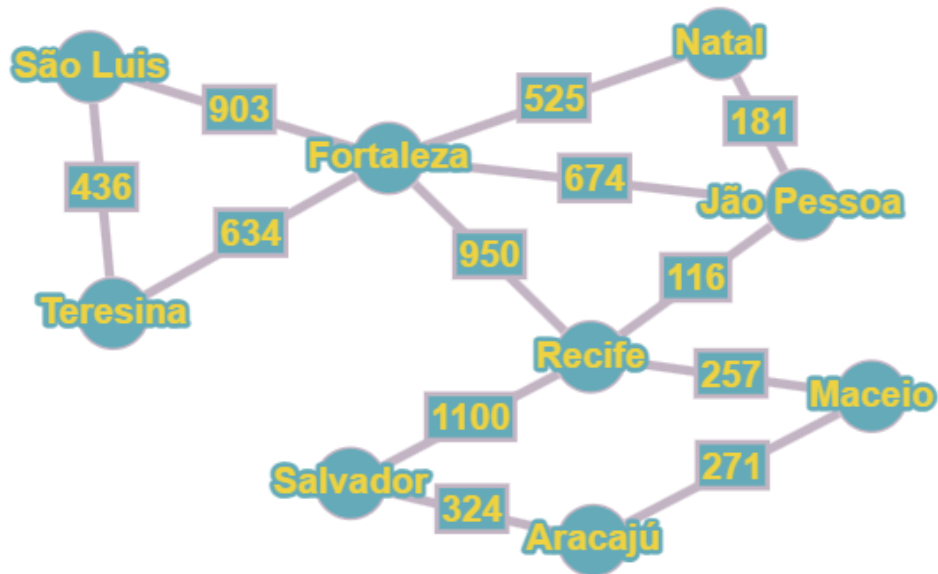
**d** = 1

**m** = 2



- O DFS precisa armazenar apenas um caminho do nó raiz até um nó folha em qualquer momento, assumindo uma complexidade de espaço linear  $O(bm)$ , sendo preferível para problemas grandes. Entretanto, não é ótimo, podendo retornar uma solução que está mais profunda na árvore de busca.
- O BFS explora todos os nós em cada nível antes de passar para o próximo nível, ela deve armazenar todos os nós em um nível antes de explorar os nós do próximo nível, adotando uma complexidade de espaço exponencial  $O(b^d)$ , que é impraticável para problemas grandes, especialmente em grafos com altos fatores de ramificação. Por outro lado, pode assumir um comportamento ótimo, desde que o custo de caminho cresça com a profundidade do nó.

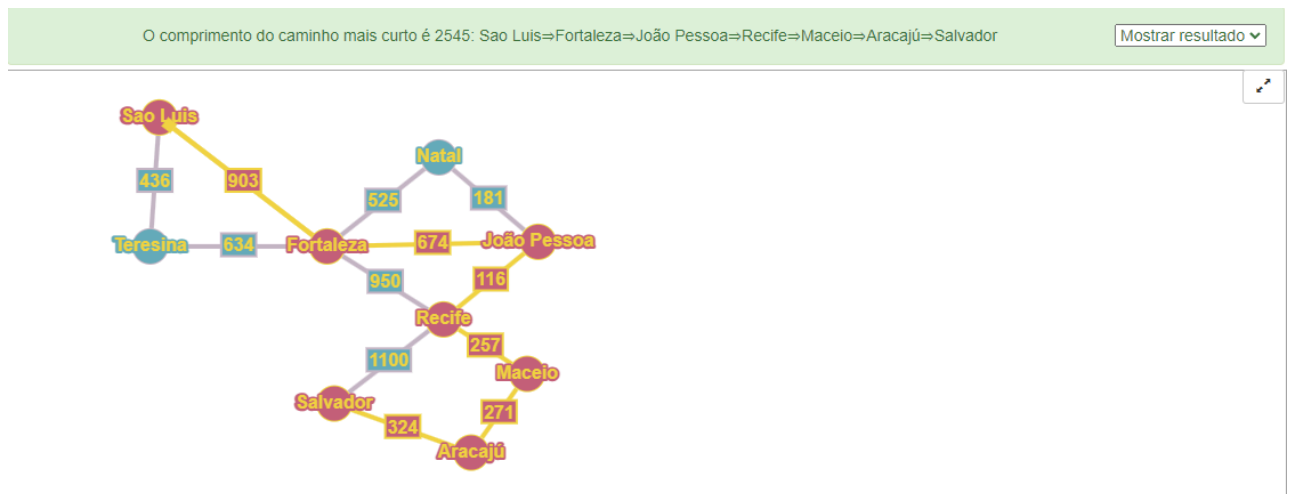
7. Considere o grafo abaixo e faça o que se pede



- a) Aplique a BUSCA-EM-GRAFO (consultar slides da aula sobre agentes de resolução de problemas) e encontre a sequência de ações que deve ser executada para sair do estado inicial **São Luís** e alcançar o Destino **Salvador**. Use a ordem alfabética para seleccionar as Cidades que estão na borda. Exemplo: Expandir(São Luís) = {Fortaleza, Teresina}. Nesse caso, a cidade Fortaleza seria seleccionada.

#	Conjunto explorado	Borda
1		São Luís
2	São Luís	Fortaleza, Teresina
3	São Luís, Fortaleza	João Pessoa, Natal, Recife, Teresina
4	São Luís, Fortaleza, João Pessoa	Natal, Recife, Teresina
5	São Luís, Fortaleza, João Pessoa, Natal	Recife, Teresina
6	São Luís, Fortaleza, João Pessoa, Natal, Recife	Maceió, Salvador, Teresina
7	São Luís, Fortaleza, João Pessoa, Natal, Recife, Maceió	Aracajú, Salvador, Teresina
8	São Luís, Fortaleza, João Pessoa, Natal, Recife, Maceió, Aracajú	<b>Salvador</b> , Teresina
9	Caminho final	<b>São Luís - Fortaleza - Recife - Salvador</b>

- b) Aplique a busca de custo uniforme saindo da Cidade de **São Luís** e chegando a cidade de **Salvador**. Qual o caminho e o custo total encontrados?



8. Explique o papel das funções heurísticas em algoritmos de busca informada e discuta como elas influenciam o desempenho e a precisão de algoritmos como a Busca Gulosa e a Busca A\*. Em sua resposta, defina o conceito de heurística admissível e sua importância, e forneça exemplos de situações em que a escolha de uma heurística pode afetar significativamente a eficácia de um algoritmo de busca.

Uma heurística auxilia a encontrar os nós mais promissores de uma solução a cada passo por meio de uma função  $f(n)$  que estima a distância de menor custo de um nó qualquer  $n$  até um nó objetivo, gerando soluções mais eficientes que algoritmos de busca sem informação, que exploram os nós de maneira mais sistemática.

A busca gulosa avalia os nós apenas pela função heurística, que escolhe os nós a serem expandidos em cada passo. Dessa forma, as soluções podem ser geradas muito mais rapidamente, desde que a função heurística seja eficiente. Por outro lado, não é uma busca ótima, pois sempre escolhe uma resposta ótima local e ignora o custo real já acumulado.

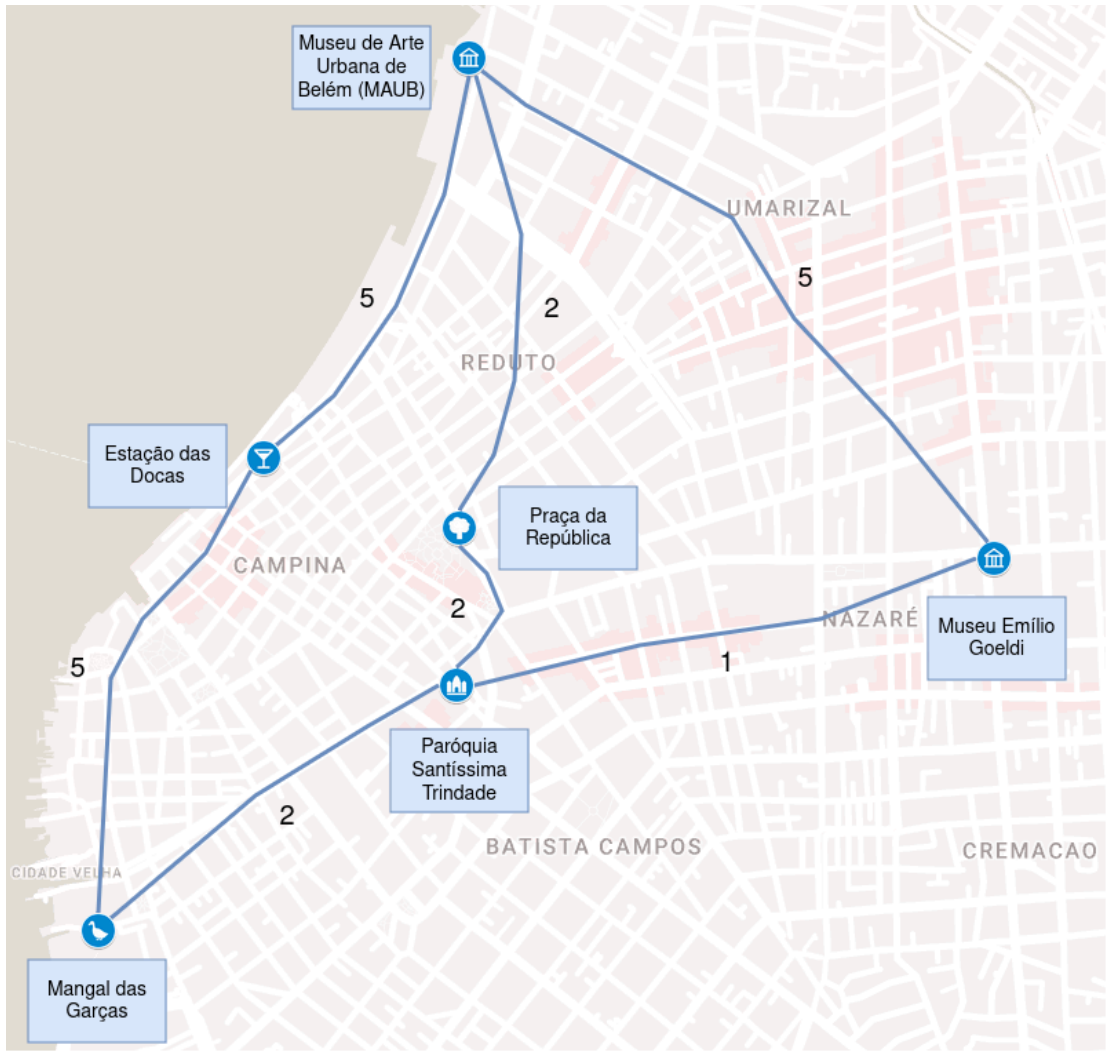
Já a busca A\* avalia os nós através de uma combinação do custo real do nó inicial até o nó  $n$ , que é o mesmo  $g(n)$  da busca de custo uniforme, e do custo estimado para ir do nó  $n$  até o nó objetivo, que é a função heurística  $h(n)$ .

Uma heurística é considerada admissível se, para qualquer nó  $n$ , a estimativa  $h(n)$  nunca superestimar o custo real para alcançar o objetivo a partir de  $n$ , garantindo que  $h(n) \leq h^*(n)$ , onde  $h^*(n)$  é o custo real do menor caminho do nó  $n$  até o objetivo. A admissibilidade é uma das condições que garantem a otimalidade, em conjunto com a consistência (ou monotonicidade), e garante que o algoritmo não expanda um nó cujo custo real seja maior que outras alternativas.



O problema do caixeiro viajante é uma situação bem conhecida por se favorecer do uso de heurísticas, uma vez que a quantidade de cidades a serem exploradas diminui significativamente em relação às estratégias de busca sem informação. Entretanto, uma heurística que não atenda às condições da admissibilidade ou da consistência podem resultar em execuções com performance similar à algoritmos mais simples.

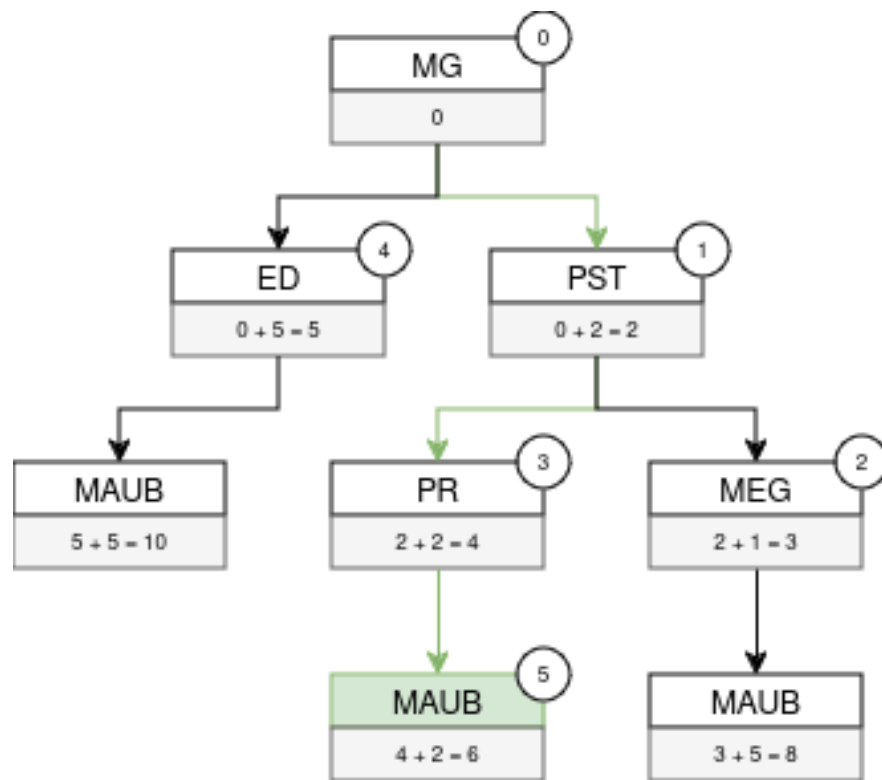
9. Considere os percursos culturais abaixo, onde o Mangal das Garças é ponto de partida e o Museu de Arte Urbana de Belém é o destino final. Os rótulos nas rotas indicam o custo de percorrê-las.



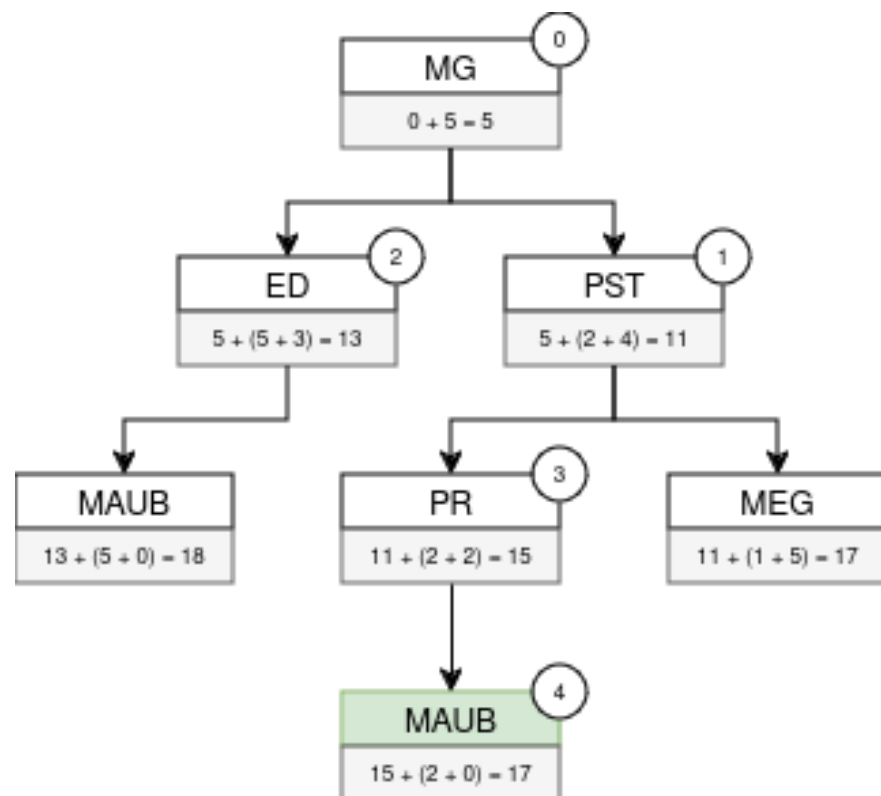
A tabela abaixo apresenta três heurísticas:  $h_0$ ,  $h_1$  e  $h_2$ .

Ponto turístico	$h_0$	$h_1$	$h_2$
Mangal das Garças (MG)	0	5	6
Estação das Docas (ED)	0	3	5
Paróquia Santíssima Trindade (PST)	0	4	2
Praça da República (PR)	0	2	5
Museu Emílio Goeldi (MEG)	0	5	3
Museu de Arte Urbana de Belém (MAUB)	0	0	0

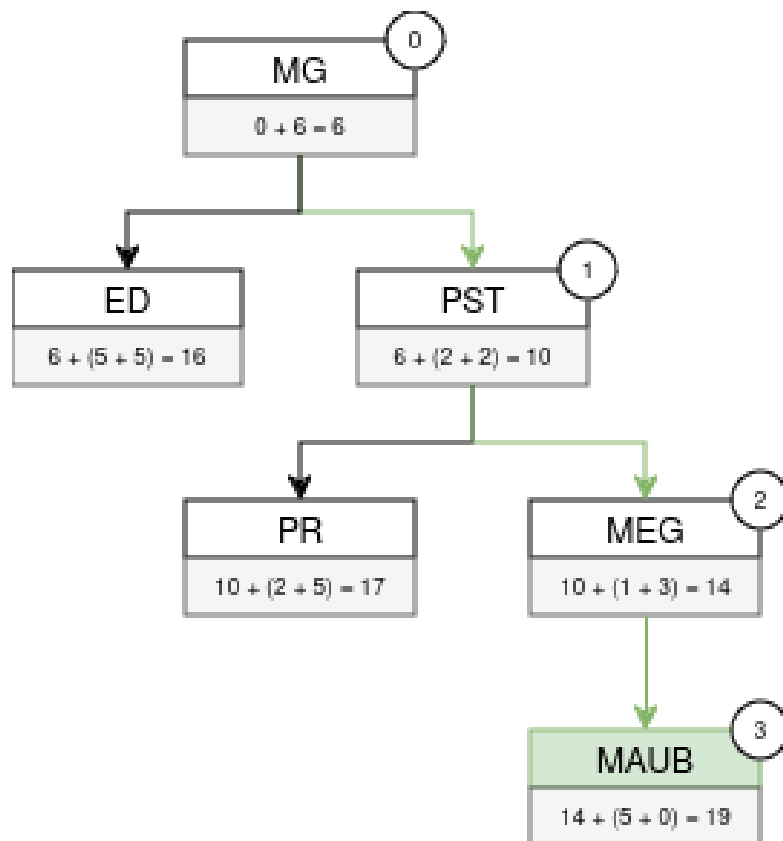
- Para  $h_0$ :



- Para  $h_1$ :



- Para  $h_2$ :



d) Quais são os nós expandidos pela busca A\* usando cada uma das heurísticas.

- $h_0$ : MG, ED, PST, PR, MEG, MAUB
- $h_1$ : MG, ED, PST, PR, MAUB
- $h_2$ : MG, ED, PST, MEG, MAUB

e) Qual a solução (caminho) encontrada por cada uma delas?

- $h_0$ : MG  $\rightarrow$  PST  $\rightarrow$  PR  $\rightarrow$  MAUB (6)
- $h_1$ : MG  $\rightarrow$  PST  $\rightarrow$  PR  $\rightarrow$  MAUB (17)
- $h_2$ : MG  $\rightarrow$  PST  $\rightarrow$  MEG  $\rightarrow$  MAUB (19)

f) Quais das heurísticas são admissíveis?

Em todas as heurísticas  $h_0$ ,  $h_1$  e  $h_2$ , para todos os nós, o custo das heurísticas não superestimam o custo de atingir o objetivo. Portanto, são heurísticas admissíveis.