

AED2 2025 (1s) - ATIVIDADE PRÁTICA DE PROGRAMAÇÃO 07 - ÁRVORE RUBRO NEGRA - REMOÇÃO

Instruções:

1. E/S: tanto a entrada quanto a saída de dados devem ser "secas", ou seja, não devem apresentar frases explicativas. Siga o modelo fornecido e apenas complete as partes informadas (veja o exemplo abaixo);
2. Identificadores de variáveis: escolha nomes apropriados;
3. Documentação: inclua cabeçalho, comentários e indentação no programa;
4. Submeta o programa no sistema Judge. Turma Integral: <https://judge.unifesp.br/AED2IA012025/login>, Turma Noturna: <https://judge.unifesp.br/AED2N012025/login>.

Descrição:

Implemente as operações básicas de um algoritmo de pesquisa em Árvores Vermelha e Preta (AVP), também conhecida como Árvore Rubro-Negra. Seu programa **deve** conter os seguintes procedimentos: (1) inicialização, (2) pesquisa, (3) inserção, (4) cálculo da altura de um nó, (5) remoção e (6) cálculo da altura-rubro. Para isso, considere:

- Na operação de remoção, quando necessário, dê a preferência para a promoção da menor chave da subárvore à direita, ou seja, o **sucessor**.
- A altura de um nó x em uma AVP é a mesma já utilizada na atividade anterior, sobre AVL. Isto é, representa a distância entre um nó x e o seu descendente mais afastado, ou seja, a altura de x é o número de passos no mais longo caminho que leva de x até um nó folha;
- A **altura-rubro (ou vermelha)** de um nó em uma AVP é a distância entre o nó x e o seu descendente mais afastado, **contando apenas os nós de cor vermelha**, incluindo o próprio nó x , **se este for da cor vermelha**.

Considere as seguintes condições:

1. A complexidade de cada procedimento implementado deve ser a mesma apresentada em aula;
2. O código-fonte **deve** ser escrito em C/C++;
3. **Toda** memória alocada dinamicamente (C/C++) deve ser desalocada;

Solução que violem essas condições **não** serão aceitas.

ENTRADA:

A primeira linha da entrada consiste de uma lista de números inteiros positivos distintos, separados por espaços. Esses números devem ser inseridos na árvore. A sequência termina com um número inteiro negativo que não deve ser inserido.

A segunda linha contém outra lista de números inteiros distintos positivos, separados por espaços, e, assim como na lista da primeira linha, um número inteiro negativo marca o final da lista. Cada um desses números da segunda linha, com exceção do número negativo, deve-se ser usado como chave de pesquisada na árvore. No caso de uma pesquisa sem sucesso, ou seja, caso o número pesquisado não esteja na árvore, o mesmo número pesquisado deverá ser inserido na árvore. Se a pesquisa for bem sucedida, ou seja, caso o número esteja presente na árvore, ele deverá ser **removido**.

A terceira linha contém um único valor inteiro positivo a ser apenas **pesquisado** na árvore. Esse número pode ou não estar na árvore. Caso o valor não seja encontrado, ele **não** deve ser inserido.

SAÍDA:

A primeira linha da saída contém a altura máxima da ABB a partir do seu nó raiz seguida da altura máxima da sub-árvore da esquerda e da direita do mesmo nó raiz. Esses valores devem ser calculados considerando apenas a árvore construída com os números da primeira linha da entrada.

Na segunda linha, deve ser exibido o valor da altura para os nós **pesquisados e encontrados** referentes a segunda linha de entrada, ou seja, apenas para os nós que **já foram inseridos** na árvore e que serão removidos em seguida, seguido pela altura da esquerda e direita. Cada resultado deverá ser exibido em uma nova linha. Os resultados dessa fase de exibição devem ser feitos antes da remoção de cada um deles. Os valores que resultarem em uma **busca sem sucesso**, e que serão em seguida inseridos, **não devem causar nenhuma exibição ou saída**.

Na última linha de saída deve ser impresso o valor da **altura vermelha** do nó pesquisado (linha 03 dos dados de entrada). Caso esse valor pesquisado não seja encontrado, deve ser exibido "Valor nao encontrado".

Exemplos de entrada e saída:

- *input01*:

Entrada	Saída
6 4 3 2 1 -1	2, 2, 1
2 5 -1	1, 1, 1
6	1

Tabela 1: Exemplos de entrada e saída 01

A Figura 1 exibe a árvore Vermelha e Preta referente a entrada de dados constante da primeira linha do primeiro exemplo, onde a altura a partir do nó raiz é $h = 2$, com altura da esquerda $h_e = 2$ e da direita $h_d = 1$.

Na Figura 2 tem-se a AVP com o nó de valor 2 em destaque, com borda verde. A altura do próprio a ser retornada será $h = 1$, com altura à esquerda e à direita,

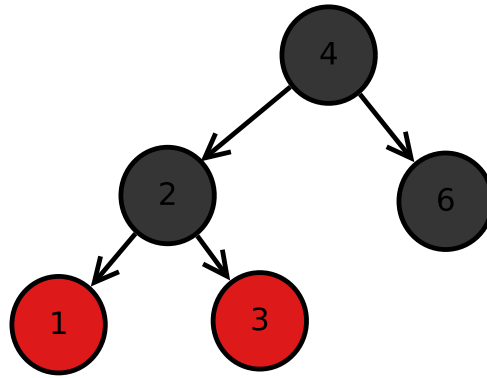


Figura 1: AVP depois da inserção de todos os elementos constantes da primeira linha de entrada

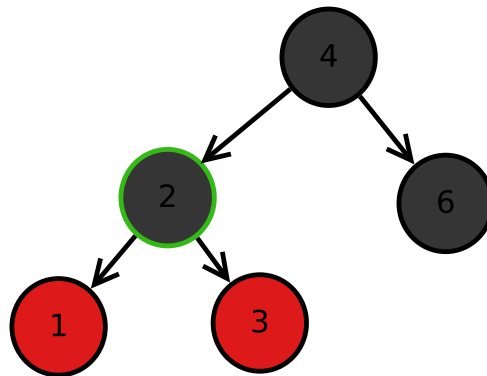


Figura 2: AVP com destaques para o nó 2, com borda verde, a ser pesquisado

$he = 1$ e $hd = 1$. Esse nó que tem valor 2 deverá ser excluído em seguida a saída.

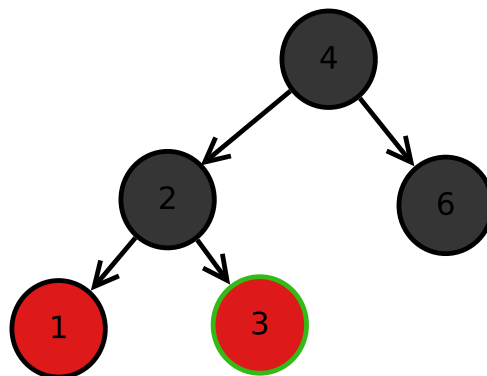


Figura 3: AVP com destaque para o sucessor de 2, a ser removido, cujo valor é 3

Na Figura 3 tem-se a AVP onde o nó de valor 2 ainda deve ser excluído, causando uma busca pelo seu sucessor, em destaque com borda verde, com valor 3.

Na Figura 4 tem-se a árvore após a remoção do nó de valor 2.

Na Figura 5 tem-se a AVP final, contando com a inserção de mais um nó de valor 5. Importante citar que a busca pelo valor 6 (definido na terceira linha dos dados de entrada) apresenta Altura-Rubro 1, conforme se pode verificar na mesma Figura 5.

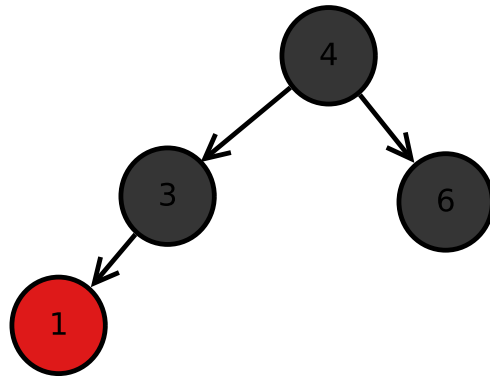


Figura 4: AVP após a exclusão do nó 2

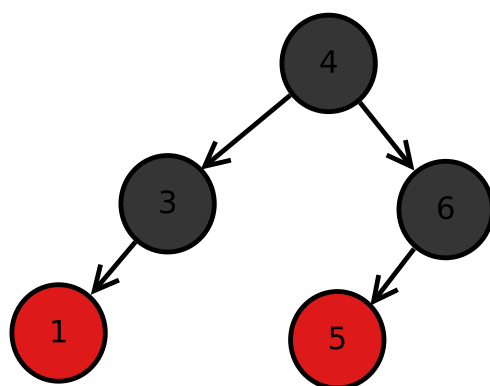


Figura 5: AVP final

- *input02*

Entrada	Saída
6 4 3 2 1 -1	2, 2, 1
2 5 -1	1, 1, 1
4	1

Tabela 2: Exemplos de entrada e saída 02

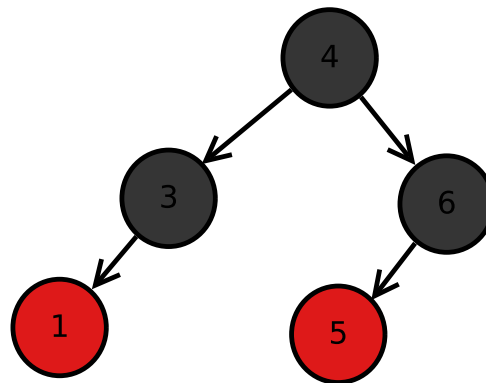


Figura 6: AVP final

A Figura 6 exibe a AVP referente a entrada de dados constante da linha 01, igual ao *input01*, porém agora a busca é para o valor 4 que também retornará 1 de altura rubro.

- *input03*

Entrada	Saída
6 4 3 2 1 5 7 8 -1	3, 2, 3
6 4 9 11 10 8 4 -1	2, 1, 2
9	2, 2, 2
	2, 1, 2
	2

Tabela 3: Exemplos de entrada e saída 03

A Figura 7 exibe a AVP referente a entrada de dados constante da linha 01 do primeiro exemplo, onde a altura a partir do nó raiz é $h = 3$, com altura da esquerda $he = 2$ e da direita $hd = 3$.

A Figura 8 destaca o valor 6, nó com borda verde. Como o valor 6 já está inserido, deve-se exibir a altura do nó 6, ou seja, $h = 2$, com altura da esquerda $he = 1$ e da direita $hd = 2$, o qual depois deverá ser excluído.

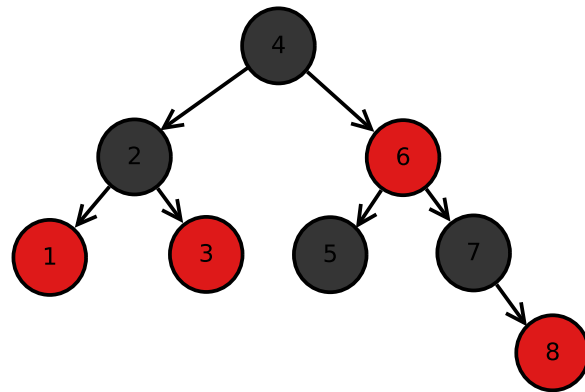


Figura 7: AVP inicial do *input3*, após a inserção dos valores da primeira linha

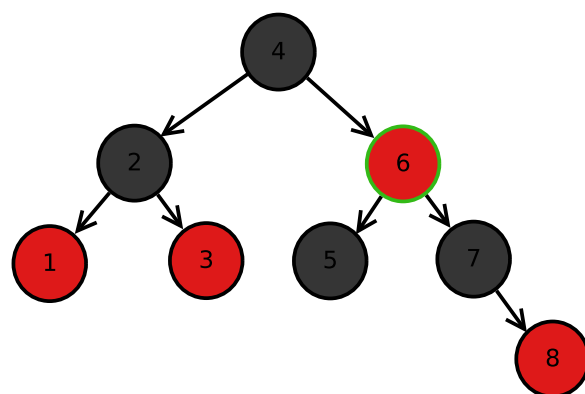


Figura 8: AVP com destaque para elemento de valor 6 buscado na árvore.

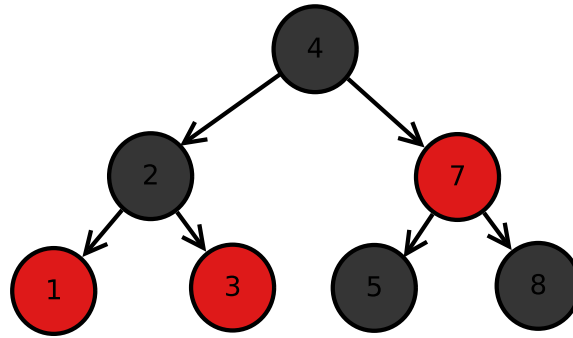


Figura 9: AVP após a remoção do valor 6

A Figura 9 refere-se a árvore AVP após a exclusão do nó de valor 6.

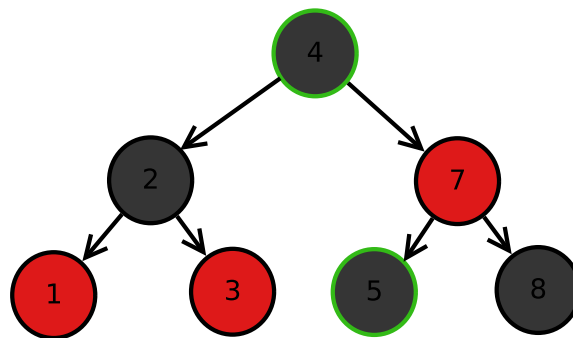


Figura 10: AVP destaca o valor 4 a ser buscado e removido e 5 como o seu sucessor 4

A Figura 10 retrata a busca pelo próximo valor da segunda linha de entrada, referente ao valor 4. Uma vez que este valor também já encontra-se na árvore, deve-se exibir os dados referente a altura do citado nó 4, ou seja, $h = 2$, $he = 2$ e $hd = 2$. Depois o nó deverá ser excluído e substituído pelo seu sucessor, nó de valor 5, também em destaque na mesma figura.

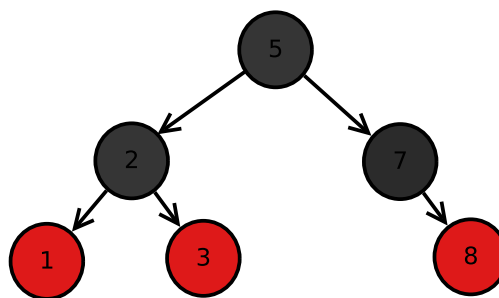


Figura 11: AVP após a remoção do nó 4.

A Figura 11 representa a AVP após a remoção do nó de valor 4.

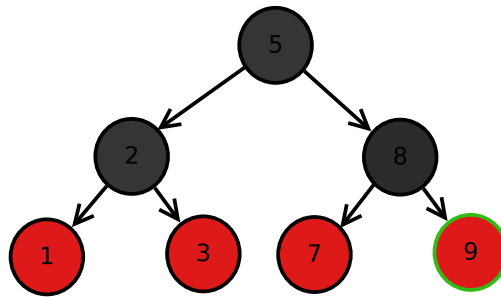


Figura 12: Inserção do valor 9 na AVP.

A Figura 12 destaca o valor 9 inserido na árvore, onde foi necessário transformações para mantê-la balanceada.

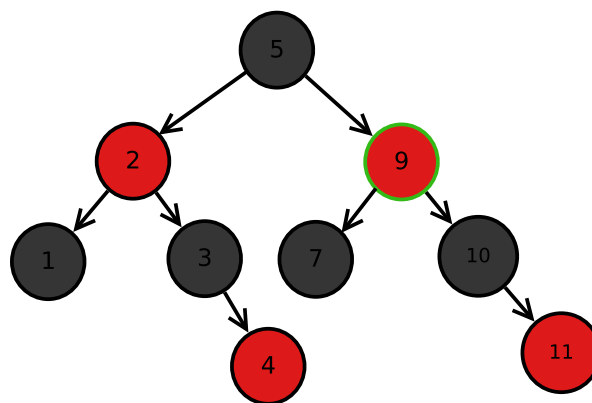


Figura 13: AVP final.

A Figura 13 retrata como a AVP ficou após a inserção ou remoção de todos os valores constantes da segunda linha dos dados de entrada. Na próxima etapa será feita uma busca pelo valor 9 (definido na terceira linha dos dados de entrada), o qual, conforme se pode verificar na mesma Figura 13, tem altura rubro 2.

- *input04*

Entrada	Saída
6 4 3 2 1 5 7 8 -1	3, 2, 3
6 4 9 11 10 8 4 -1	2, 1, 2
20	2, 2, 2
	2, 1, 2
	Valor nao encontrado

Tabela 4: Exemplos de entrada e saída 03

A Figura 14 representa a AVP final após a leitura das linhas 01 e 02 dos dados de entrada (igual ao *input03*). Neste caso, a busca é para o valor 20. Como este valor não existe na AVP, deve-se retornar a mensagem: "Valor nao encontrado".

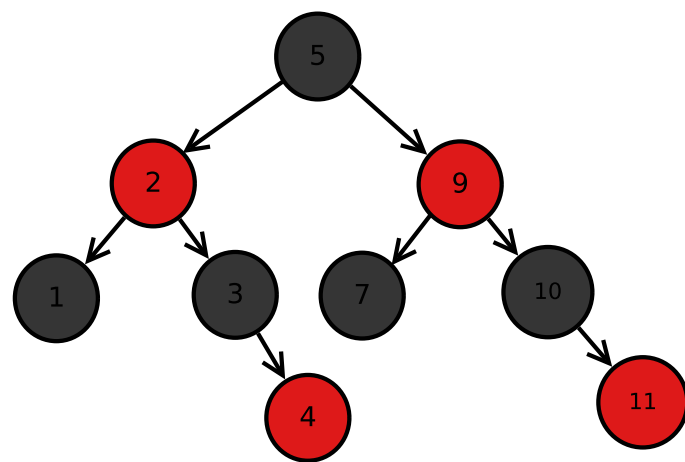


Figura 14: AVP após a inserção e/ou remoção dos elementos constantes da segunda linha dos dados de entrada do input4.