

Árvores rubro-negras

```

ajustaArvore( tNo *raiz, tNo* no ){ --insert fix up
while no -> pai -> cor == RED {
  if (no -> pai == no -> pai -> pai -> esq) { /* insercao na subarv.esq */
    tio = no -> pai -> pai -> dir;
    if tio -> cor == RED { /* cor a dir. do avo e' vermelho */
      no -> pai -> cor = BLACK // pai preto
      tio -> cor = BLACK // tio preto
      no -> pai -> pai -> cor = RED // avo vermelho
      no = no -> pai -> pai // testa a arvore para cima
    }
  } else{ /* cor a dir. do avo e' preto */
    if no == no -> pai -> dir ){ /* desbal. na subarv.dir do dir*/
      no = no -> pai /* Caso 2: esq-dir */
      rotEsq(no)
    } // aqui o nó troca pra ser o filho do rotacionado
    no -> pai -> cor = BLACK /* Caso 3 esq-esq, pai de preto
    no -> pai -> pai -> cor = RED // avo de vermelho
    rotDir( no -> pai -> pai ) // rot dir avo
  }
} else{
  /* inverte tudo */
}
raiz -> cor = BLACK
}
}

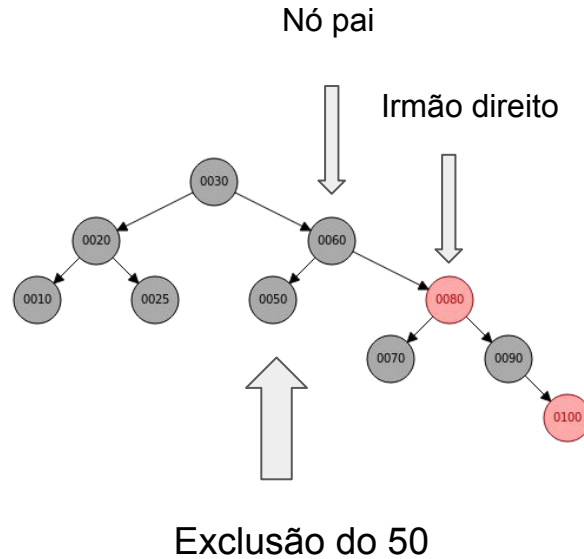
```

Exclusão em rubro-negra

- Baseado no algoritmo de exclusão da árvore binária de busca
- Guarda a cor do elemento a ser excluído
- Caso 1 e 2
 - Exclui o nó e ajusta, caso for preto
- Caso 3 (sucessor)
 - Sucessor fica com a cor do nó excluído
 - Ajusta caso preto
- Questão central : **como realizar o ajuste**

Caso 1 - irmão do nó é vermelho

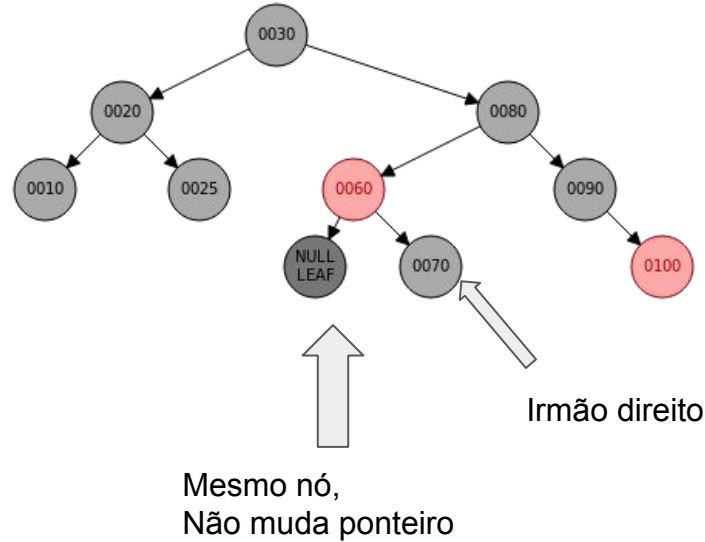
- Pai fica vermelho
- Irmão (nó direito) fica preto
- Rotação à esquerda do pai



Resultado caso 1 : preparou para Caso 2 : irmão da direita é preto e filhos são pretos

- Irmão direito fica vermelho
- Sobe na árvore para testar próximos casos → aponta para o pai (nó 60)

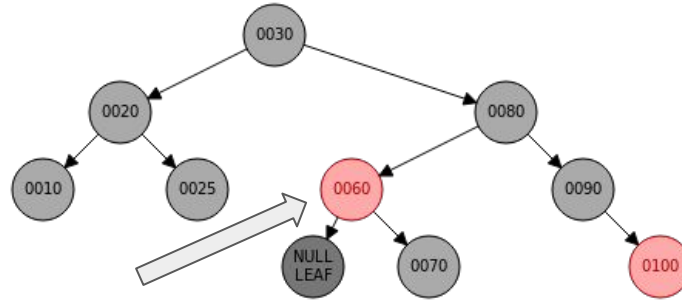
Single Rotate Left



Resultado caso 2 : novo nó é vermelho, retorna do algoritmo e seta para preto

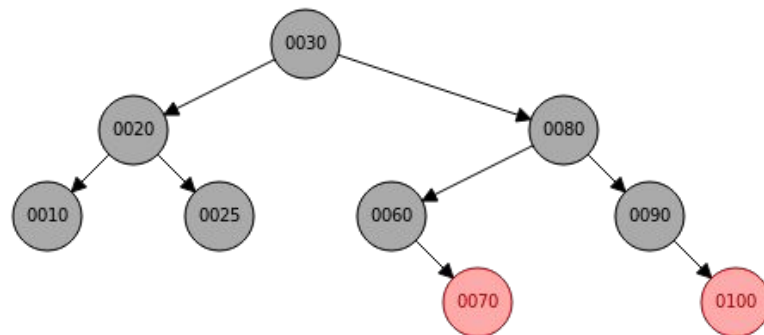
- Irmão direito fica vermelho
- Sobe na árvore para testar próximos casos → aponta para o pai (nó 60)

Single Rotate Left



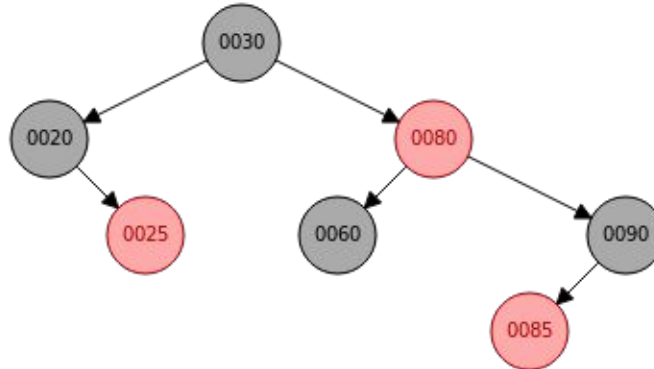
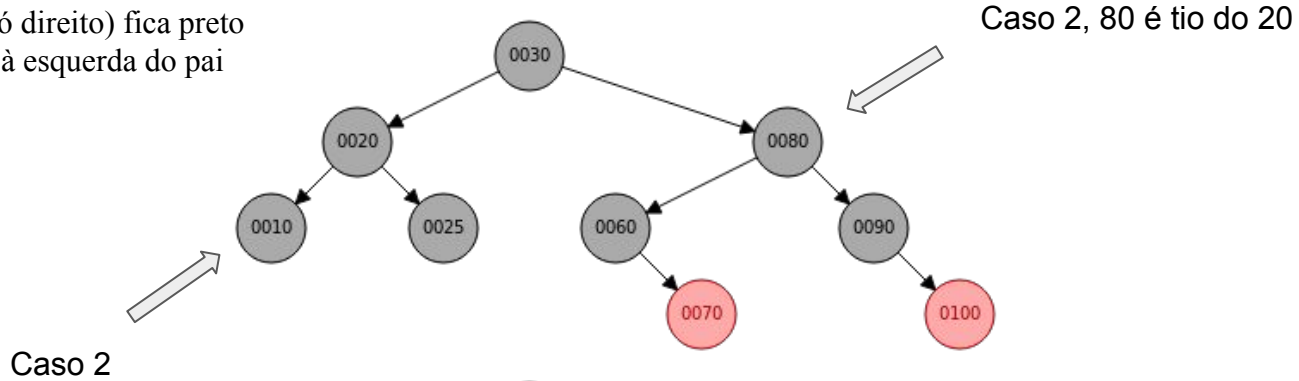
Nó corrente

Resultado caso 2 : novo nó é vermelho, retorna do algoritmo e seta para preto



Ajustando a árvore para os demais casos

- Exclui 10 → caso 2 → caso 2
- Irmão (nó direito) fica preto
- Rotação à esquerda do pai

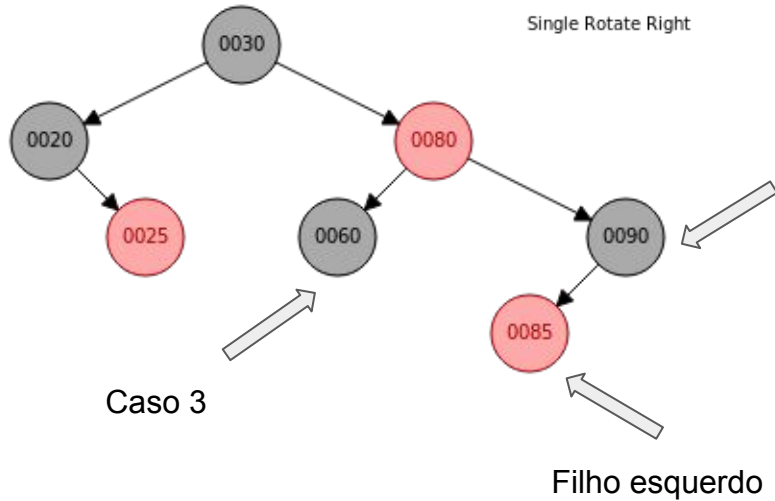


Ajustes para próximo caso:

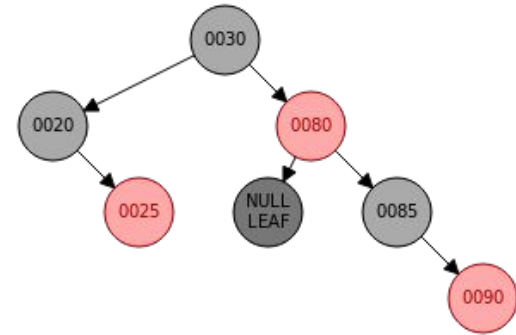
- Exclui 100; Exclui 70; Inclui 85

Caso 3: irmão da direita é preto, filho direito do irmão é preto e filho esquerdo é vermelho: exclusão do 60

- Irmão direito fica vermelho (90)
- Filho esquerdo fica preto (85)
- Rotação à direita do irmão esquerdo (85)



Irmão direito



Caso 4: Irmão da direita é preto, e filho direito é vermelho

- Nó da direita fica com a cor do pai
- Nó pai fica preto
- Filho direito fica preto
- Rotaciona pai à esquerda

