Unidade VIII:
Árvores TRIE

Instituto de Ciências Exatas e Informática
Departamento de Ciência da Computação

Árvores *Trie*

- Estruturas de dados para a procura rápida de padrões
- Usadas em aplicações de pré-processamento do texto
- Nome derivado da palavra *retrieval* (recuperação)
- Aplicadas, por exemplo, em: índices, armazenamento de palavras (dicionários) e busca de uma sequência de DNA em uma base de genomas

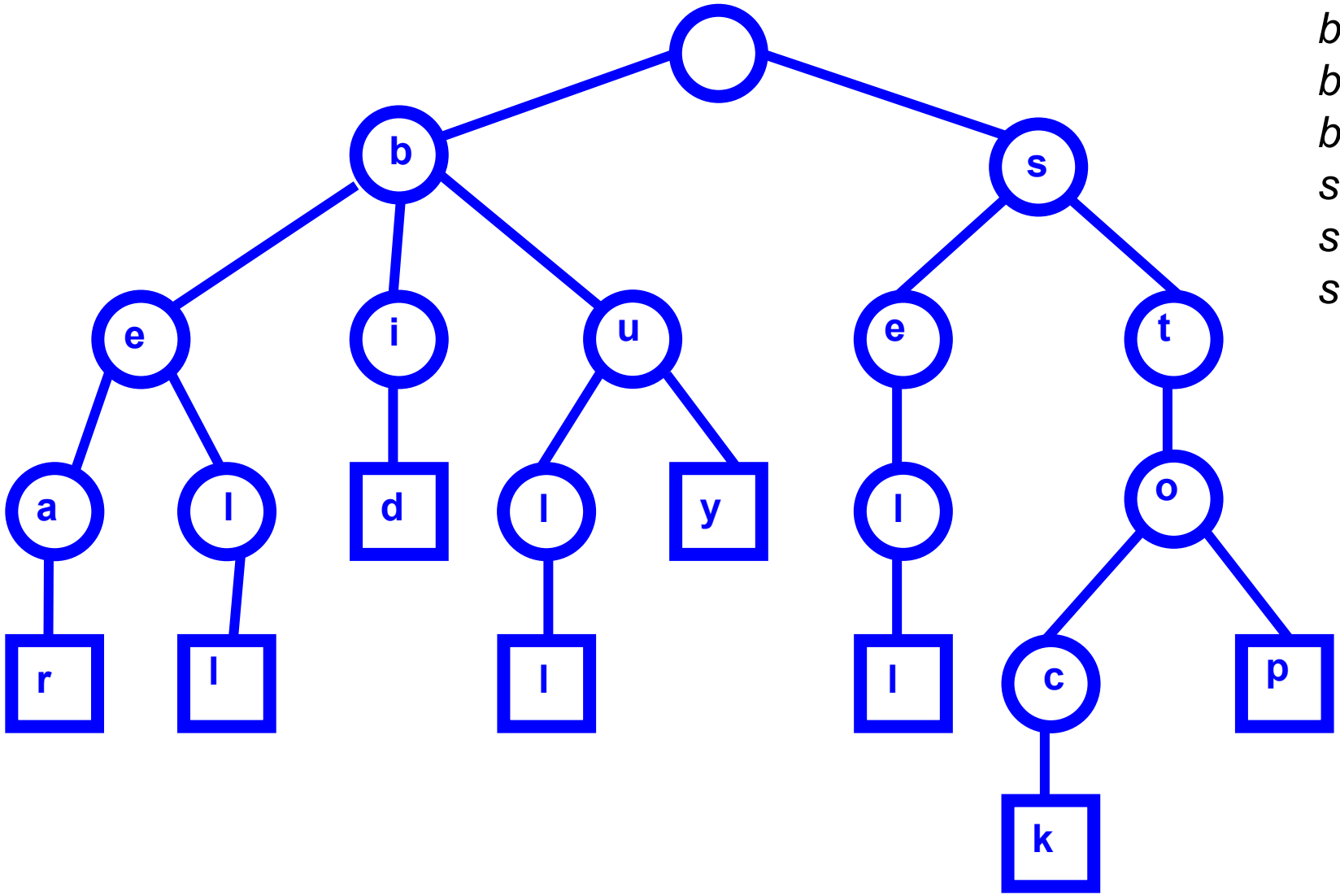
Definição

- Tem-se uma coleção de S cadeias de caracteres (ou palavras) utilizando o mesmo alfabeto e as operações primárias suportadas são:

  - Procura de padrões

  - Procura de prefixos: Recebe-se uma palavra X e retornam-se todas as palavras que têm X como prefixo

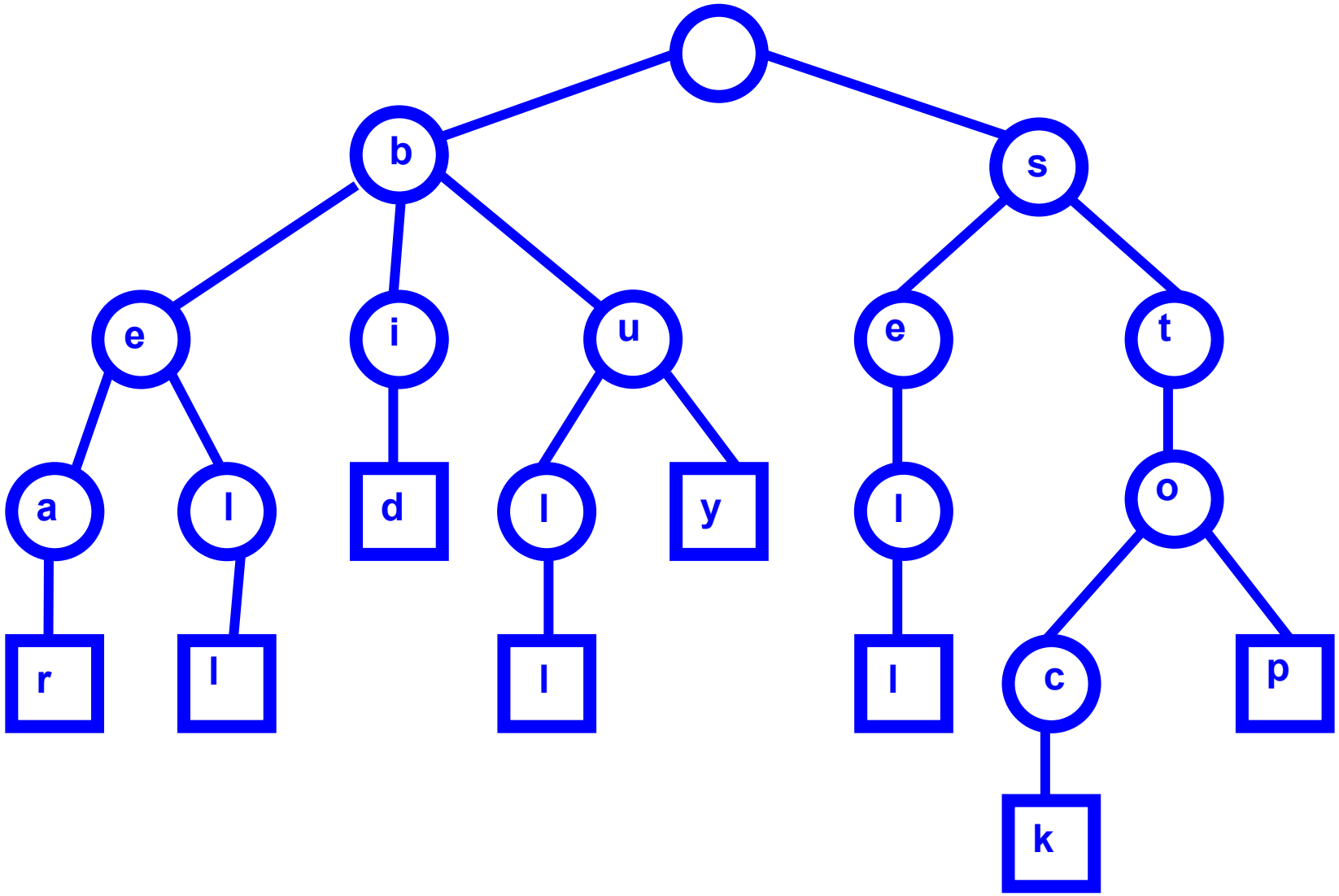
Exemplo



bear - urso
bell - sino
bid - oferta
bull - touro
buy - compra
sell - vende
stock - ação
stop - parar

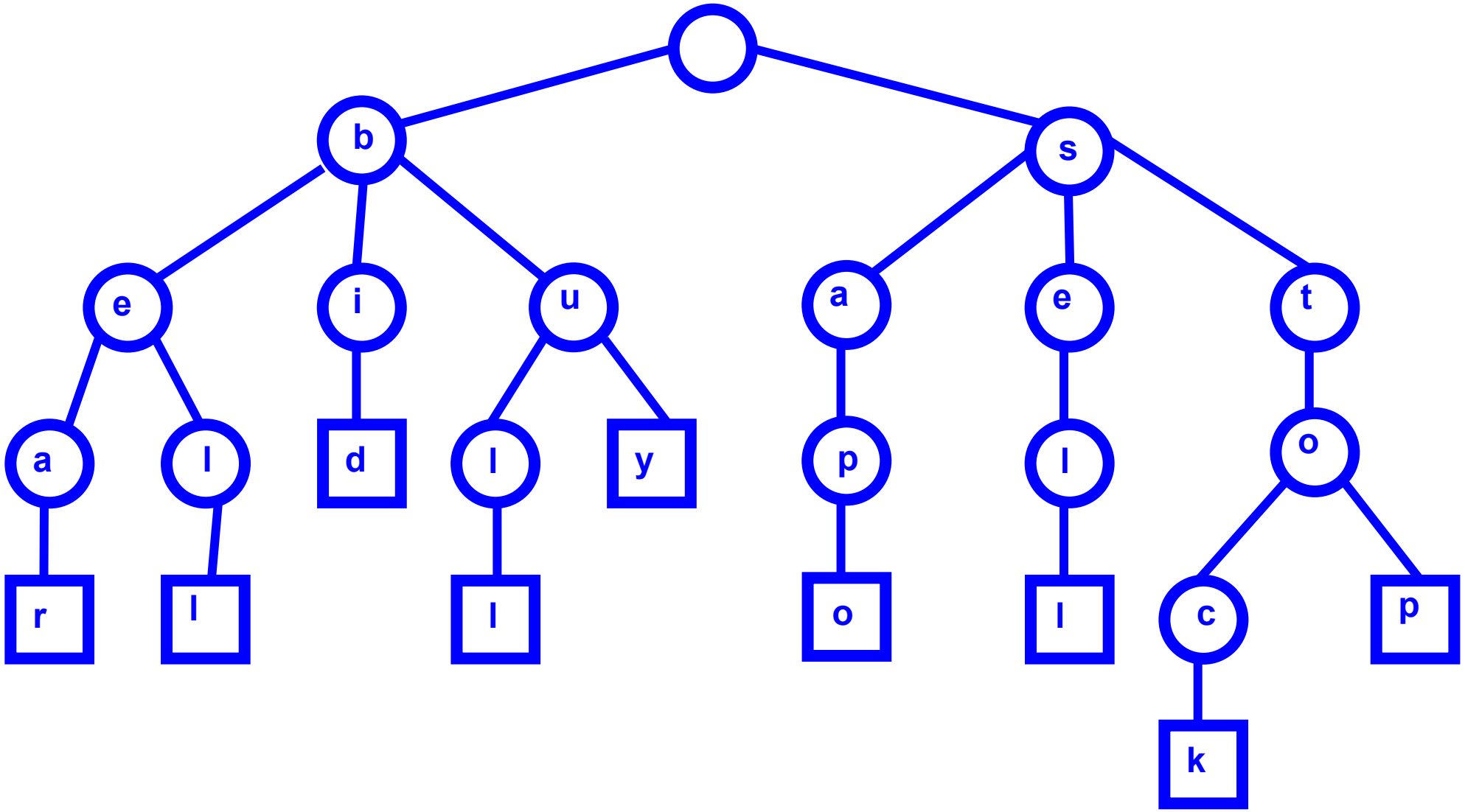
Exercício Resolvido (1)

- Insira as palavras sapo e sapato na árvore abaixo



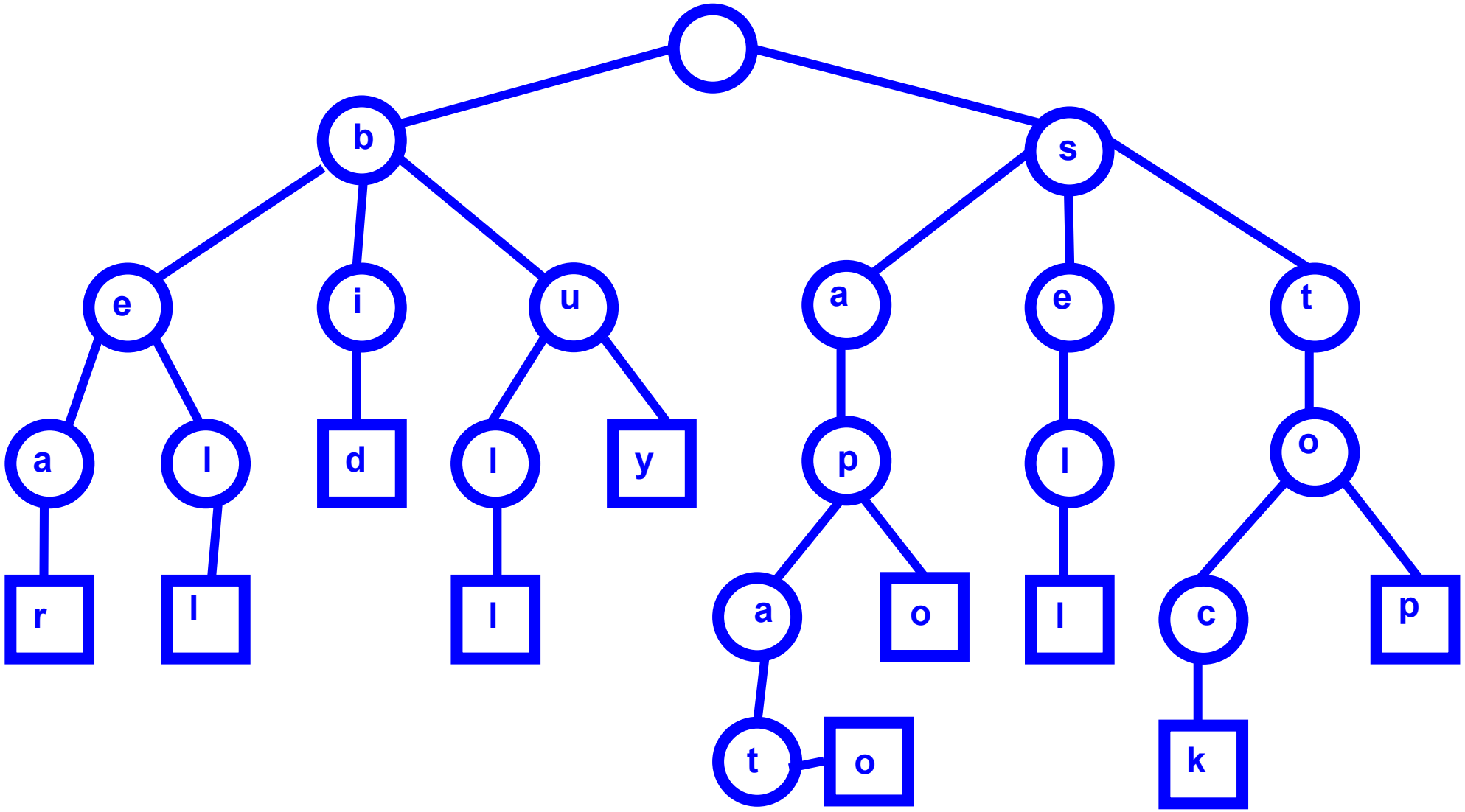
Exercício Resolvido (1)

- Insira as palavras **sapo** e sapato na árvore abaixo



Exercício Resolvido (1)

- Insira as palavras sapo e **sapato** na árvore abaixo



Propriedades

- Nenhuma cadeia de S é prefixo de outra cadeia
- Cada nó (exceto a raiz) é rotulado com um caractere do Σ
- A árvore tem *s* folhas, uma para cada cadeia de S
- Em um caminho da raiz até uma folha, a concatenação dos rótulos resulta na cadeia associada a essa folha

Propriedades

- Cada nó interno tem no máximo $d = |\Sigma|$ filhos
- Em geral, a *trie* é uma árvore múltipla (0...*d* filhos)
- Quando *d* igual a 2, a *trie* será uma árvore binária
- A altura da árvore é igual ao tamanho da maior cadeia da coleção, $d_{máximo}$

Propriedades

- Seja *n* o número total de caracteres de S, o número de nós é $\Theta(n)$

- O pior caso para o número de nós acontece quando não existe qualquer prefixo comum entre as cadeias, fazendo com que todos os nós internos (exceto a raiz) tenham um filho

Pesquisar por uma Cadeia de Caracteres

- A partir da raiz, verificamos caractere-a-caractere se existe um caminho na árvore correspondendo à cadeia desejada

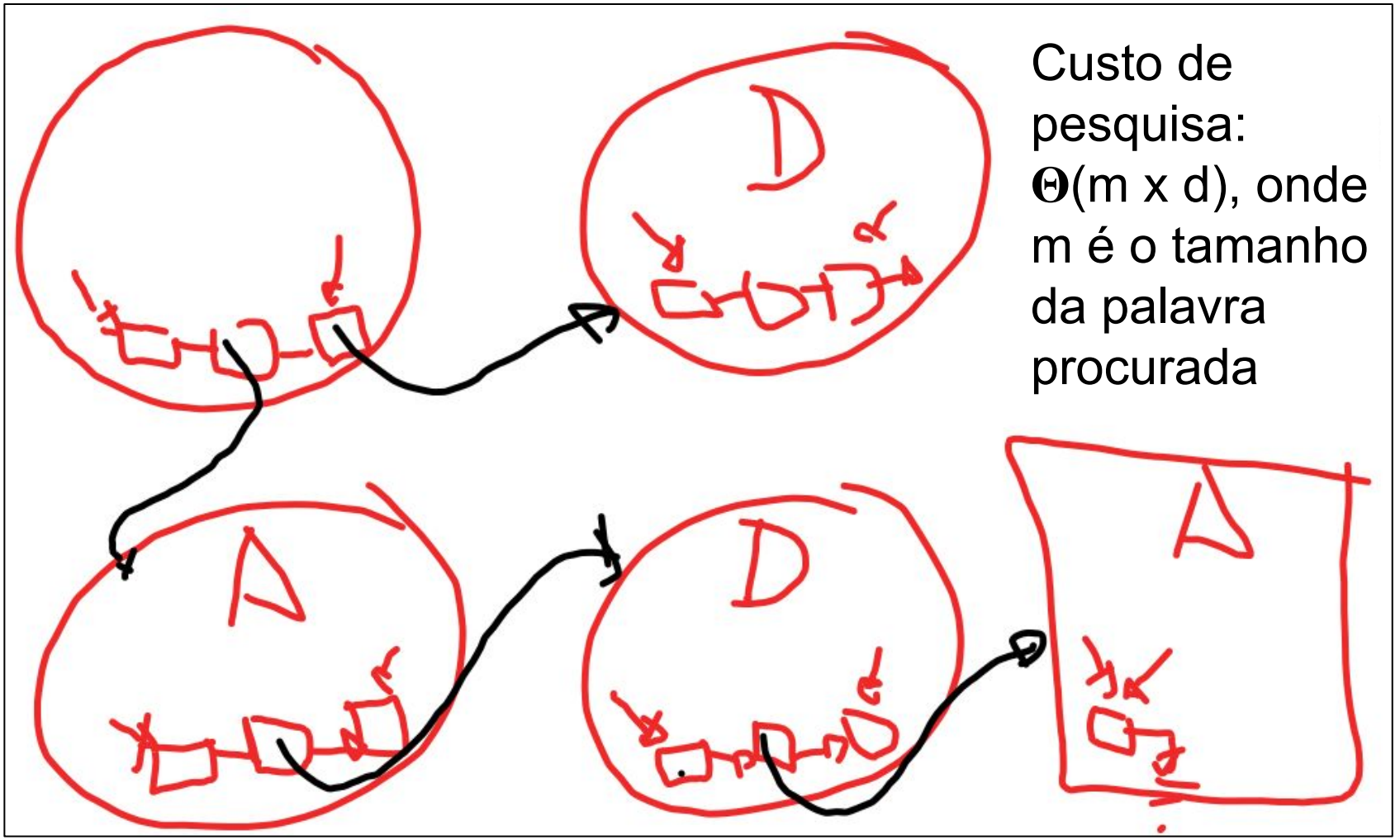
- Por definição, um caminho sempre termina em uma folha

Exercício Resolvido (2)

- Implemente a Classe Nó da Árvore Trie e mostre seu custo de pesquisa

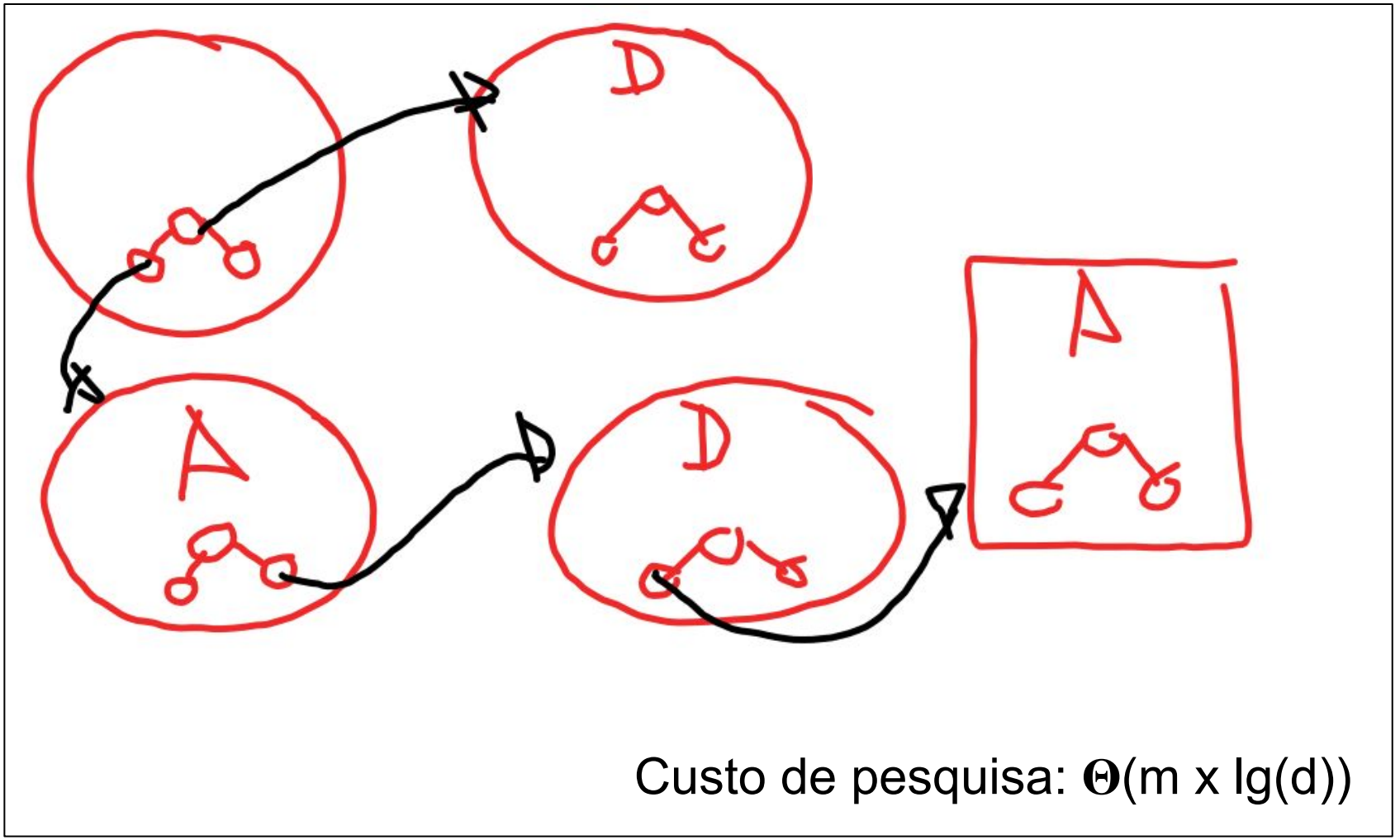
Exercício Resolvido (2)

- Implemente a Classe Nó da Árvore Trie **(Lista flexível)** e mostre seu custo de pesquisa



Exercício Resolvido (2)

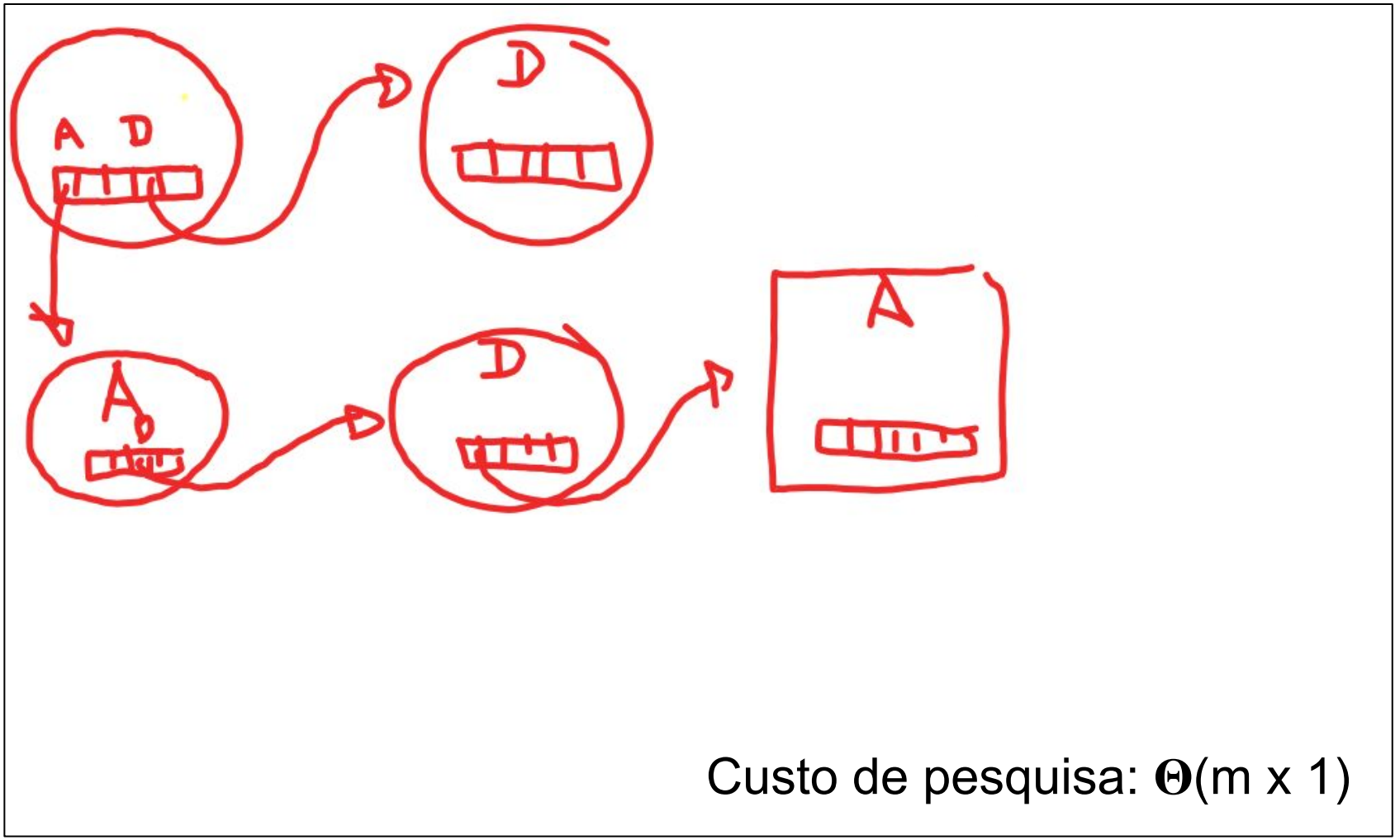
- Implemente a Classe Nó da Árvore Trie **(AB Balanceada)** e mostre seu custo de pesquisa



Custo de pesquisa: $\Theta(m \times \lg(d))$

Exercício Resolvido (2)

- Implemente a Classe Nó da Árvore Trie **(*Hash* Perfeita)** e mostre seu custo de pesquisa



Custo de pesquisa: Θ(m x 1)

Exercício Resolvido (3)

- Implemente a Classe Nó da Árvore Trie usando: a) *Hash* Perfeita; b) Árvore Binária; c) Lista Flexível

Exercício Resolvido (3)

- Implemente a Classe Nó da Árvore Trie usando: **a) *Hash* Perfeita**; b) Árvore Binária; c) Lista Flexível

```
class No {
   public char elemento;
   public final int tamanho = 255;
   public No[] prox;
   public boolean folha;

   public No (){
      this(' ');
   }

   public No (char elemento){
      this.elemento = elemento;
      prox = new No [tamanho];
      for (int i = 0; i < tamanho; i++) prox[i] = null;
      folha = false;
   }

   public static int hash (char x){
      return (int)x;
   }
}
```

Exercício Resolvido (3)

- Implemente a Classe Nó da Árvore Trie usando: a) *Hash* Perfeita; **b) Árvore Binária**; c) Lista Flexível

ver código em u10/java/trieVariacoes/trieAB

Exercício Resolvido (3)

- Implemente a Classe Nó da Árvore Trie usando: a) *Hash* Perfeita; b) Árvore Binária; **c) Lista Flexível**

ver código em u10/java/trieVariacoes/trieListaFlexivel

Inserção de uma Cadeia de Caracteres

- Caminhamos na *trie* casando cada caractere da nova cadeia

- Quando **não** existe um nó para um caractere, criamos o nó e repetimos este passo para os demais caracteres da cadeia

- Lembrando que nenhuma cadeia é prefixo de outra

- Tempo de inserção é $\Theta(m)$, onde m é o tamanho da palavra procurada (supondo a implementação com tabela *hash*)

- Espaço de construção da árvore é $\Theta(n)$, onde n = |S|

Exercício Resolvido (4)

- Implemente a árvore *trie* usando uma **tabela *hash* perfeita** em seus nós:

construtor, pesquisar, inserir e mostrar

Exercício Resolvido (4)

- Implemente a árvore *trie* usando uma **tabela *hash* perfeita** em seus nós:

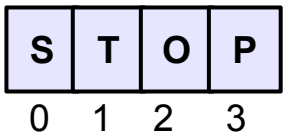
construtor, pesquisar, inserir e mostrar

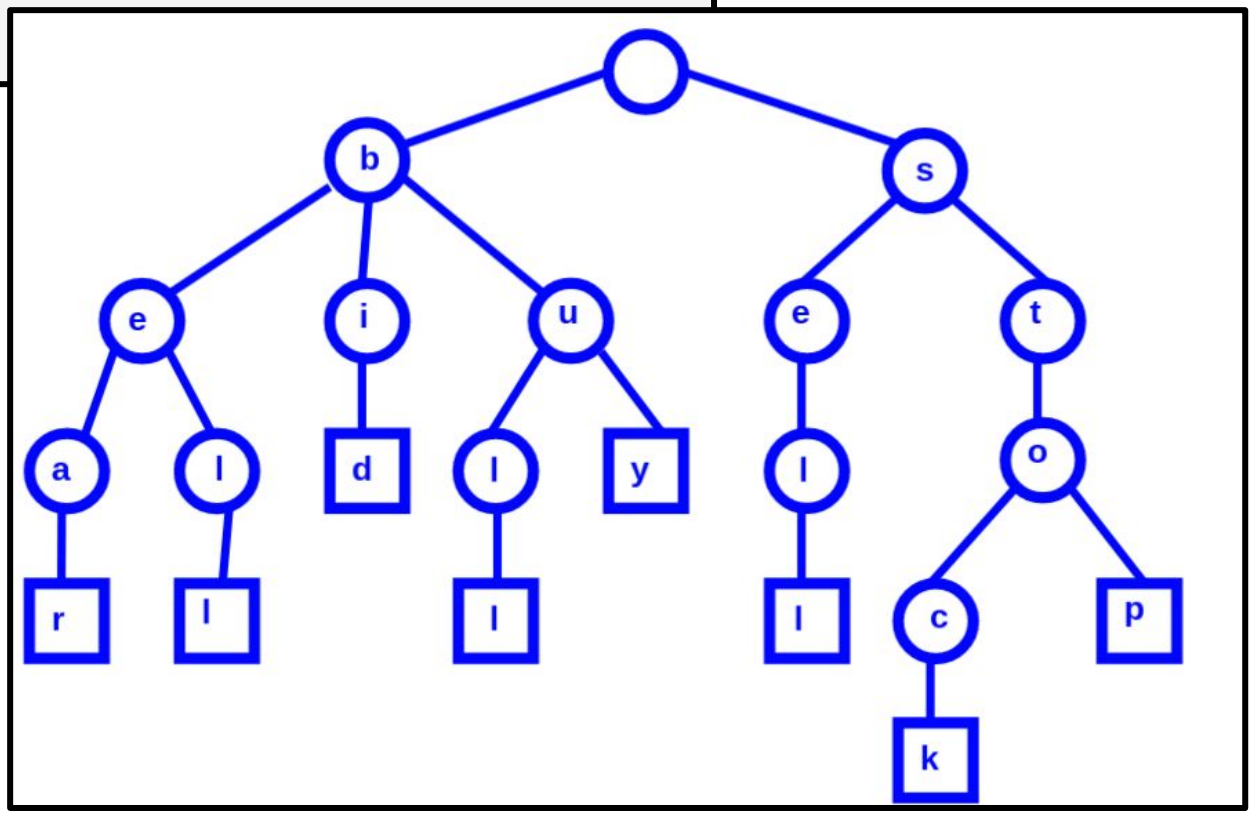
```
class ArvoreTrie {
   private No raiz;
   public ArvoreTrie(){
      raiz = new No();
   }
   public boolean pesquisar(String s) throws Exception {
      return pesquisar(s, raiz, 0);
   }
   private boolean pesquisar(String s, No no, int i) throws Exception  { … }
   public void inserir(String s) throws Exception {
      inserir(s, raiz, 0);
   }
   private  void inserir(String s, No no, int i) throws Exception { … }
   }
   public void mostrar(){
      mostrar("", raiz);
   }
   private void mostrar(String s, No no)  { … }
}
```

Resolvido (4)

eita em seus nós:

```
public boolean pesquisar(String s) throws Exception {
    return pesquisar(s, raiz, 0);
}
private boolean pesquisar(String s, No no, int i) throws Exception  {
    boolean resp;
    if (no.prox[s.charAt(i)] == null){
        resp = false;
    } else if (i == s.length() - 1){
        resp = (no.prox[s.charAt(i)].folha == true);
    } else if (i < s.length() - 1 ){
        resp = pesquisar(s, no.prox[s.charAt(i)], i + 1);
    } else {
        throw new Exception("Erro ao pesquisar!");
    }
    return resp;
}
```



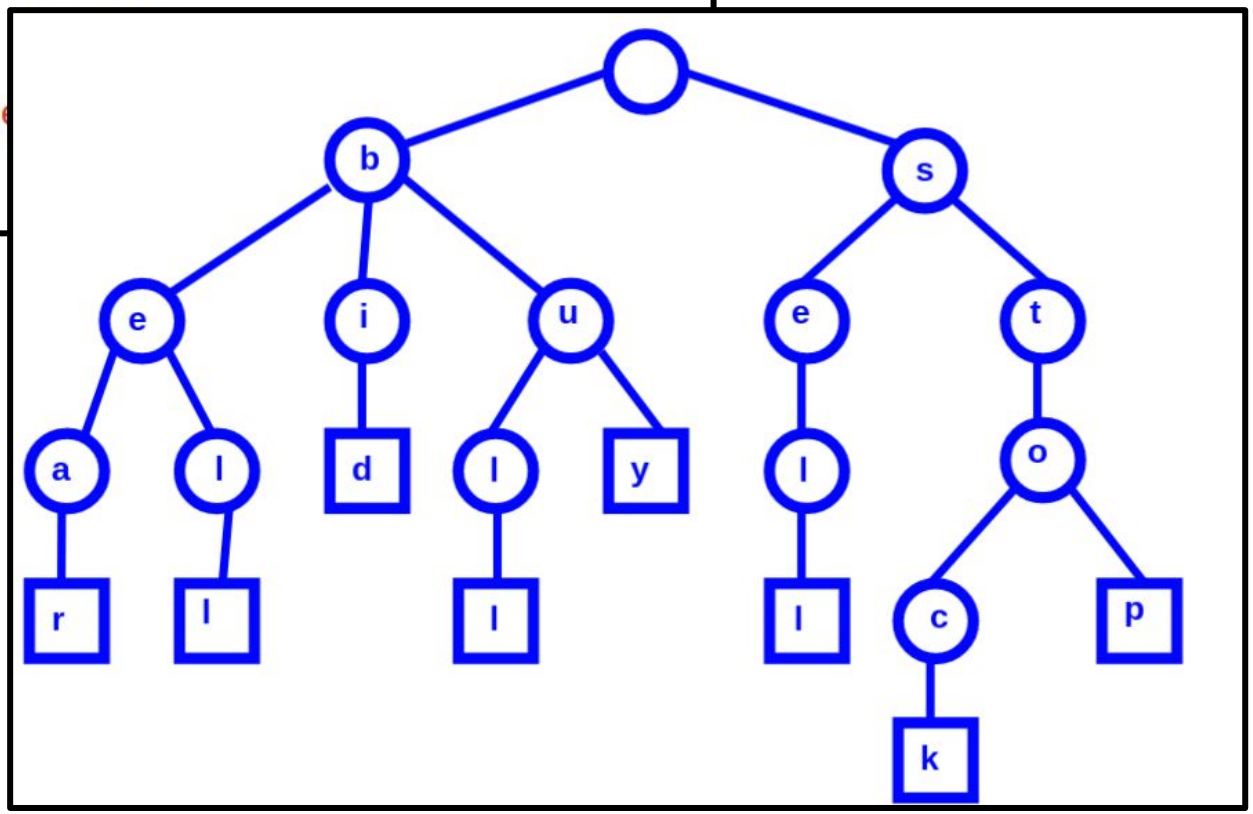


Resolvido (4)

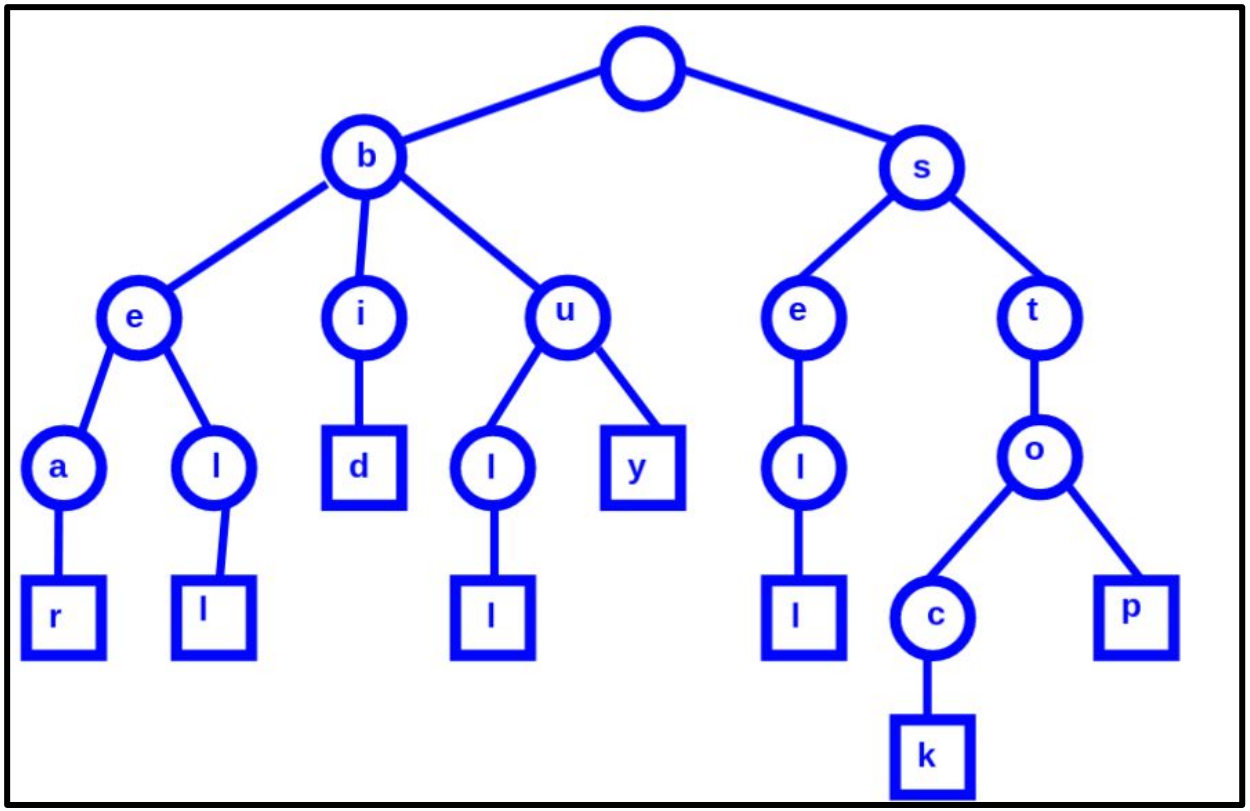
eita em seus nós:

```
private void inserir(String s, No no, int i) throws Exception {
    System.out.print("\nEM NO(" + no.elemento + ") (" + i + ")");
    if(no.prox[s.charAt(i)] == null){
        System.out.print("--> criando filho(" + s.charAt(i) + ")");
        no.prox[s.charAt(i)] = new No(s.charAt(i));

        if(i == s.length() - 1){
            System.out.print("(folha)");
            no.prox[s.charAt(i)].folha = true;
        }else{
            inserir(s, no.prox[s.charAt(i)], i + 1);
        }

    } else if (no.prox[s.charAt(i)].folha == false && i < s.length() - 1){
        inserir(s, no.prox[s.charAt(i)], i + 1);

    } else {
        throw new Exception("Erro ao inse
    }
}
```

S	A	P	O
0	1	2	3



```java
public void mostrar(){
    mostrar("", raiz);
}

public void mostrar(String s, No no) {
    if(no.folha == true){
        System.out.println("Palavra: " + (s + no.elemento));
    } else {
        for(int i = 0; i < no.prox.length; i++){
            if(no.prox[i] != null){
                System.out.println("ESTOU EM (" + no.elemento + ") E VOU PARA (" + no.prox[i].elemento + ")");
                mostrar(s + no.elemento, no.prox[i]);
            }
        }
    }
}
```



Exercício Resolvido (5)

- Na árvore *trie* usando uma **tabela *hash* perfeita**, faça um método para contar o número de caracteres A

Exercício Resolvido (5)

- Na árvore *trie* usando uma **tabela *hash* perfeita**, faça um método para contar o número de caracteres A

```
public int contarAs(){
    int resp = 0;
    if(raiz != null){
        resp = contarAs(raiz);
    }
    return resp;
}

public int contarAs(No no) {
    int resp = (no.elemento == 'A') ? 1 : 0;

    if(no.folha == false){
        for(int i = 0; i < no.prox.length; i++){
            if(no.prox[i] != null){
                resp += contarAs(no.prox[i]);
            }
        }
    }
    return resp;
}
```

Exercício Resolvido (6)

- Implemente a árvore *trie* usando uma **árvore binária balanceada** em seus nós

ver código em u10/java/trieVariacoes/trieAB

Exercício Resolvido (6)

- Implemente a árvore *trie* usando uma **árvore binária balanceada** em seus nós

ver código em u10/java/trieVariacoes/trieAB

Exercício Resolvido (7)

- Implemente a árvore *trie* usando uma **lista flexível** em seus nós

ver código em u10/java/trieVariacoes/trieListaFlexivel

Exercício Resolvido (7)

- Implemente a árvore *trie* usando uma **lista flexível** em seus nós

ver código em u10/java/trieVariacoes/trieListaFlexivel

Exercício Resolvido (8)

- Implemente a árvore *trie* usando uma **tabela *hash* perfeita** em seus nós **aceitando a inserção de prefixos**

Exercício Resolvido (8)

- Implemente a árvore *trie* usando uma **tabela *hash* perfeita** em seus nós **aceitando a inserção de prefixos**

ver código em u10/java/trieVariacoes/trieAceitandoPrefixos

Exercício (1)

- No método inserir, após a criação de um nó, efetuamos a chamada recursiva para a inserção dos demais caracteres de uma palavra. Substitua essa chamada recursiva por um laço que insere os demais caracteres da palavra.