Universidade Federal do Pará
Instituto de Ciências Exatas e Naturais
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

ÁRVORES TRIE E PATRICIA

Prof. Carlos Gustavo Resque dos Santos
gustavoresqueufpa@gmail.com
Autor: Nelson Cruz Sampaio Neto

Introdução

- Definida em 1960 por Edward Fredkin.
- TRIE vem de “RETRIEVAL” (recuperação).
- A pronúncia: “tri” ou “trai”.
- Também conhecida como **árvore digital**, é um tipo de estrutura onde partes das chaves são usadas na definição do caminho.
- Muito utilizada para armazenar cadeias de caracteres e suportar uma rápida procura de padrões.

Introdução

- Na pesquisa digital, as chaves são formadas por um conjunto de dígitos ou caracteres sobre um alfabeto.
- As chaves têm tamanho variável e sem limitação explícita quanto ao tamanho.
- Exemplos de alfabetos: {0,1,2,3,4...}, {A,B,C,D,E,F...}, {0,1}.
- Exemplos de chaves:
  ABABBBABABA 19034717 Maria
  01010101000000000101000000001010

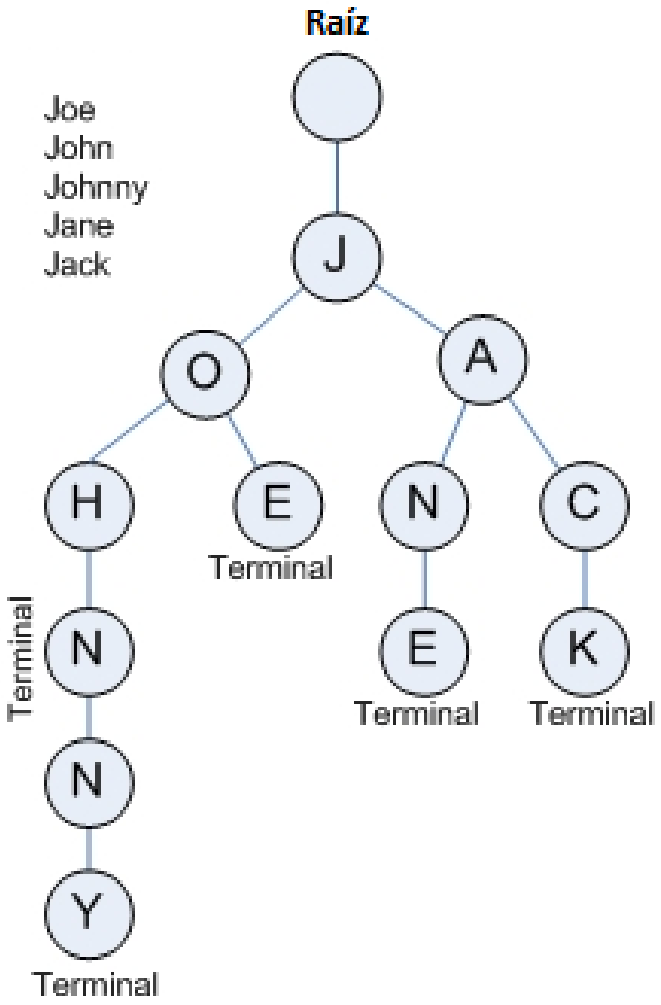
Introdução

- A diferença entre a busca digital e a busca estudada até agora é que a chave não é tratada como um elemento indivisível.

- Em vez de se comparar a chave procurada com as chaves do conjunto armazenado, a comparação é efetuada entre os dígitos que compõem as chaves, dígito a dígito.

- O método de pesquisa digital é análogo à pesquisa manual em dicionários: com a primeira letra da palavra são determinadas todas as páginas que contêm as palavras iniciadas por aquela letra e assim por diante.

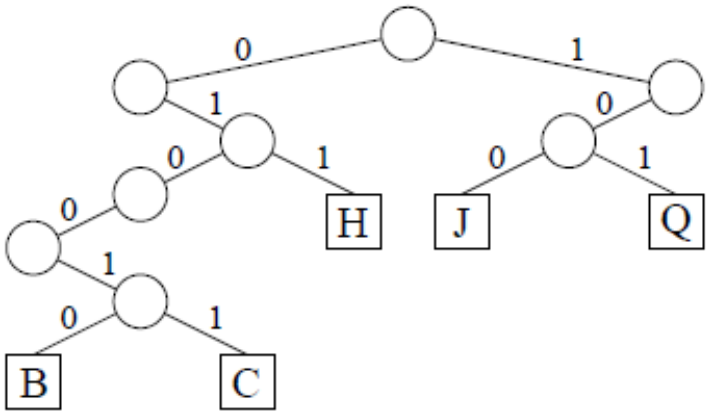
Exemplo


Raíz
Joe
John
Johnny
Jane
Jack
J
O
A
H
E
N
C
Terminal
Terminal
N
E
K
Terminal
Terminal
Terminal
N
Y
Terminal

Exemplo

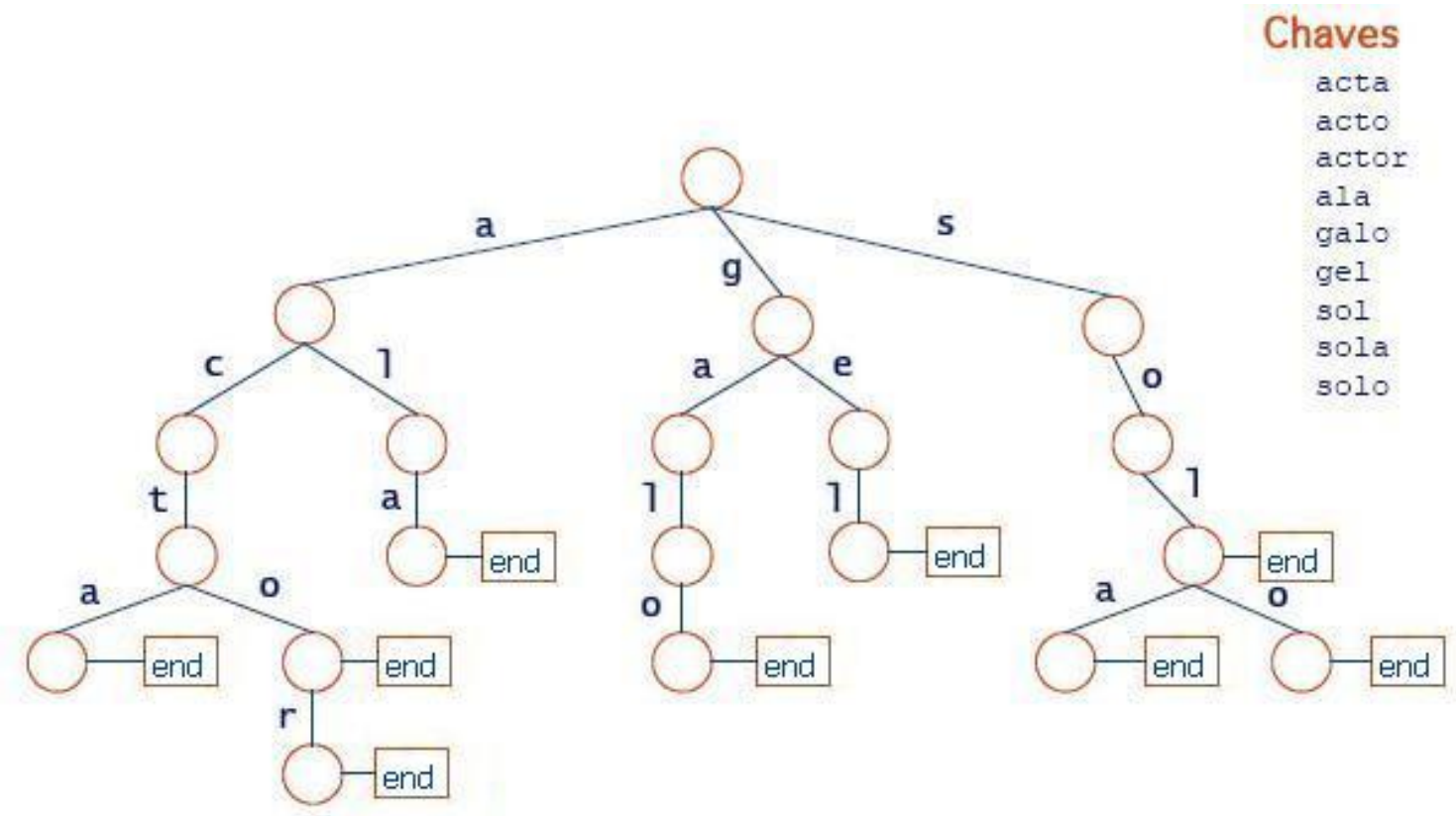
Chaves de 6 *bits* :

$$\begin{aligned} \mathrm{B} &= 010010 \\ \mathrm{C} &= 010011 \\ \mathrm{H} &= 011000 \\ \mathrm{J} &= 100001 \\ \mathrm{Q} &= 101000 \end{aligned}$$



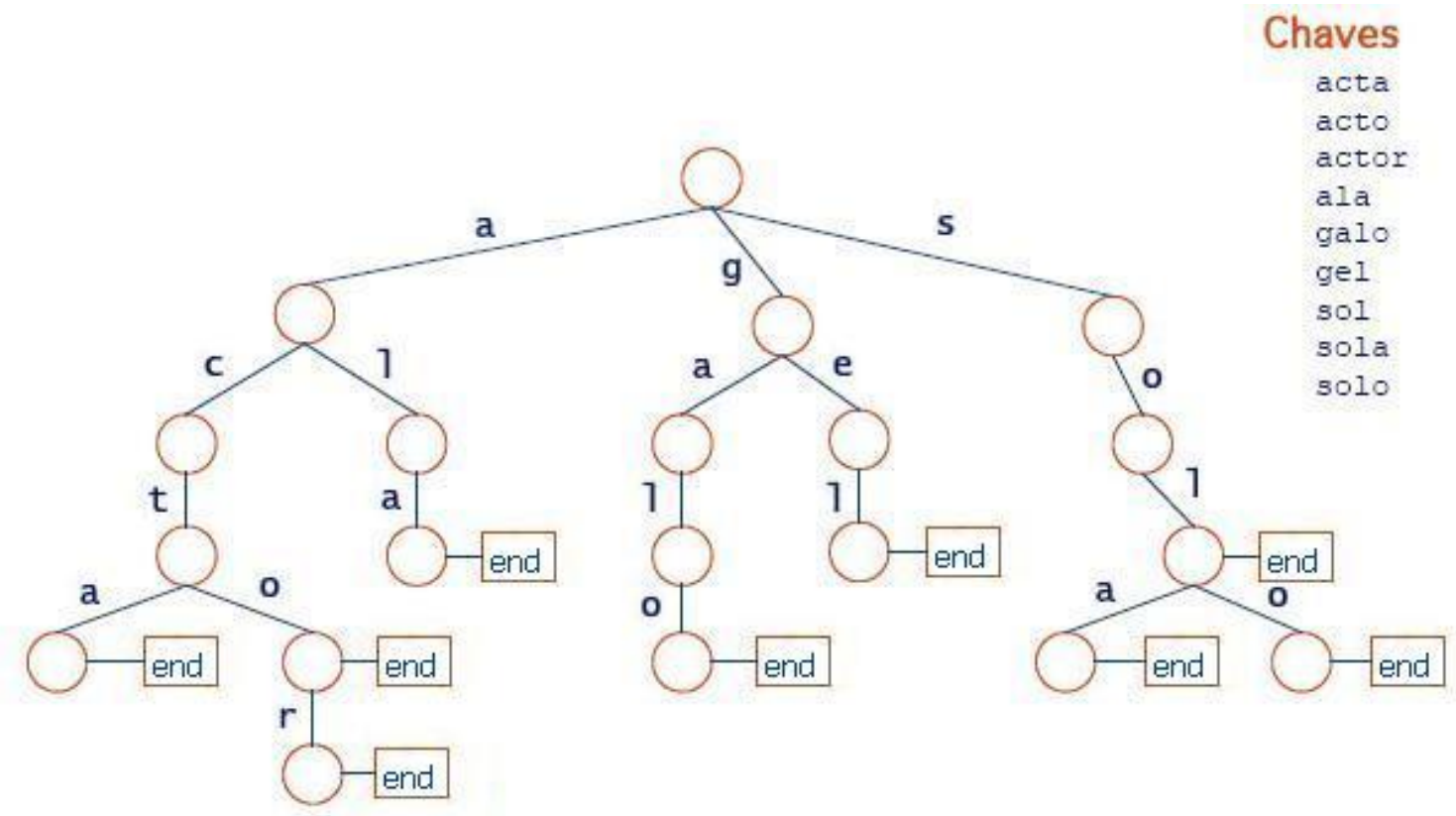
Estrutura de uma TRIE

- Árvore ordenada e n-ária.



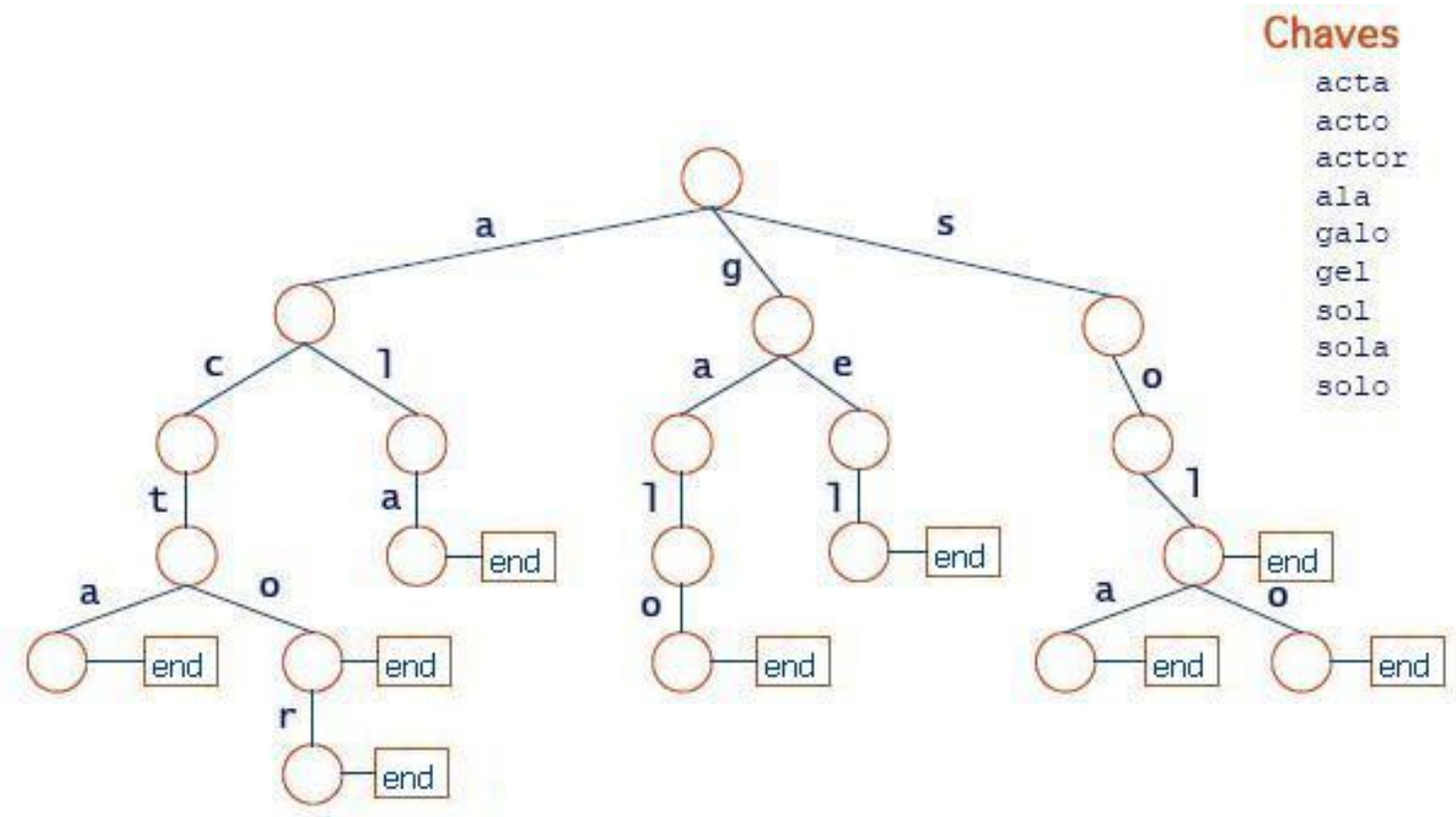
Estrutura de uma TRIE

- Raiz: cadeia vazia.



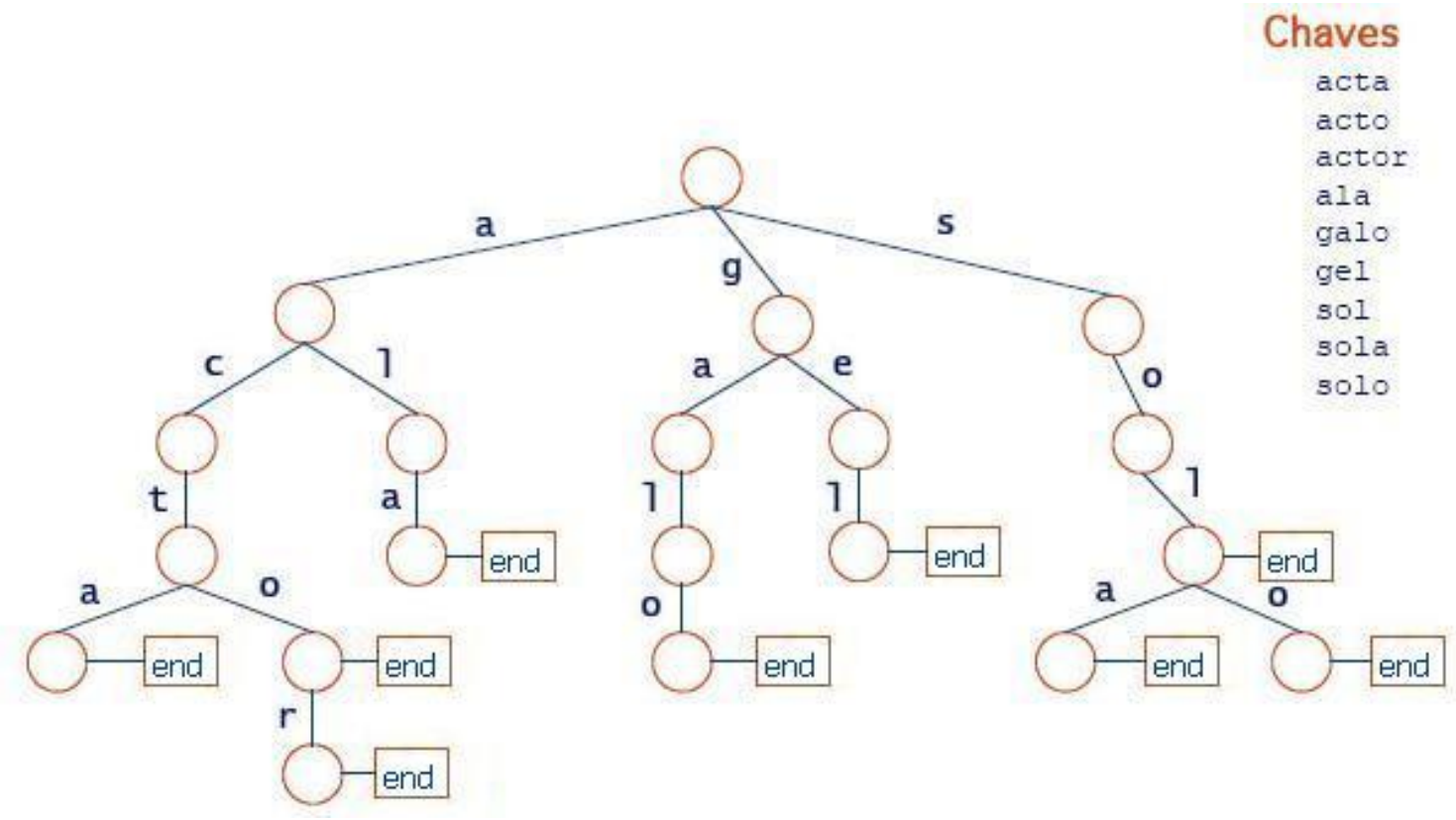
Estrutura de uma TRIE

- O caminho da raiz para qualquer outro nó é um prefixo de uma string.



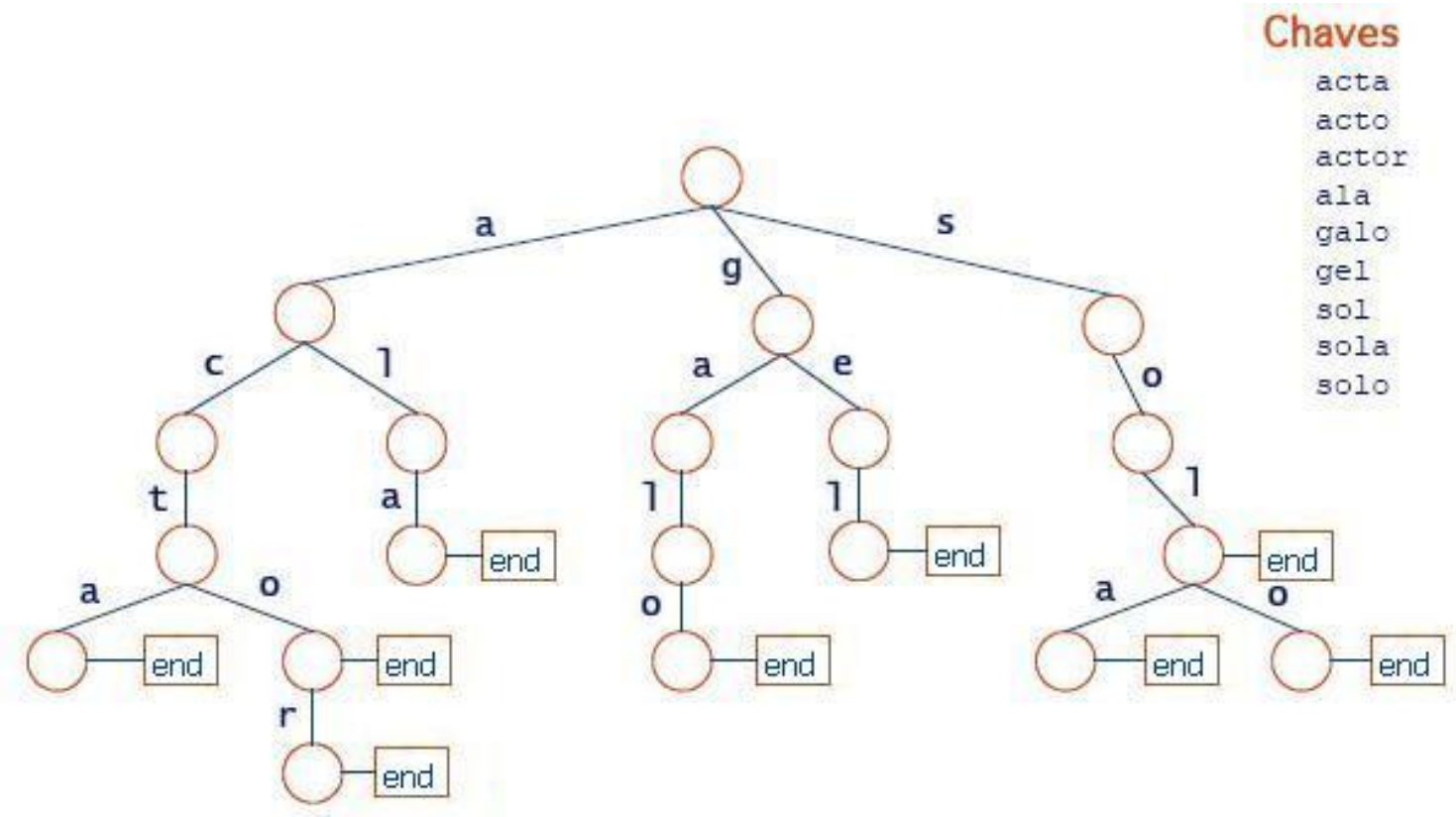
Estrutura de uma TRIE

- As chaves são associadas a folhas ou a nós internos de interesse, ditos terminais.



Estrutura de uma TRIE

- Cada nó pode conter informação sobre um ou mais símbolos do alfabeto utilizado.



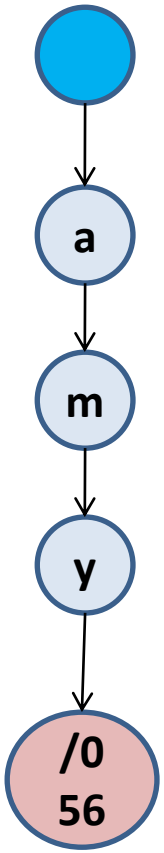
Montando uma árvore TRIE

- amy 56
- ann 15
- emma 30
- rob 27
- roger 52

Estes são pares que queremos inserir na árvore TRIE.

Montando uma árvore TRIE

- amy 56



<- Nível 0 (RAIZ)

<- Nível 1

<- Nível 2

<- Nível 3

<- Nível 4 (TERMINAL)

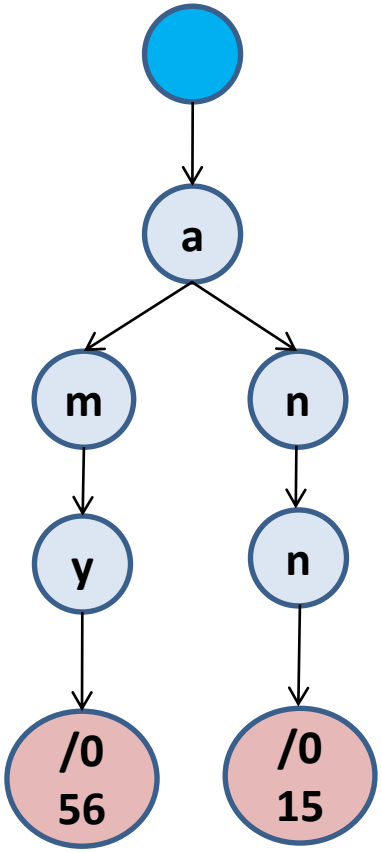
Montando uma árvore TRIE

- INSIRA

ann 15

Montando uma árvore TRIE

- ann 15



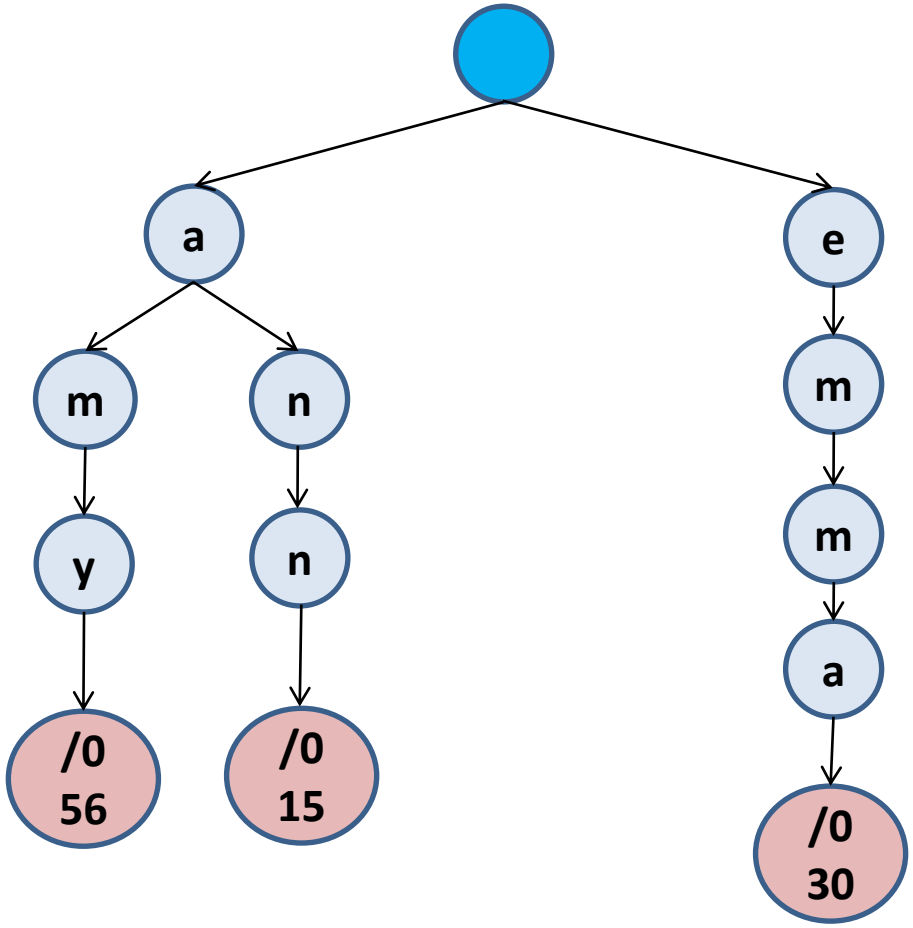
Montando uma árvore TRIE

- INSIRA

  emma 30

Montando uma árvore TRIE

- emma 30



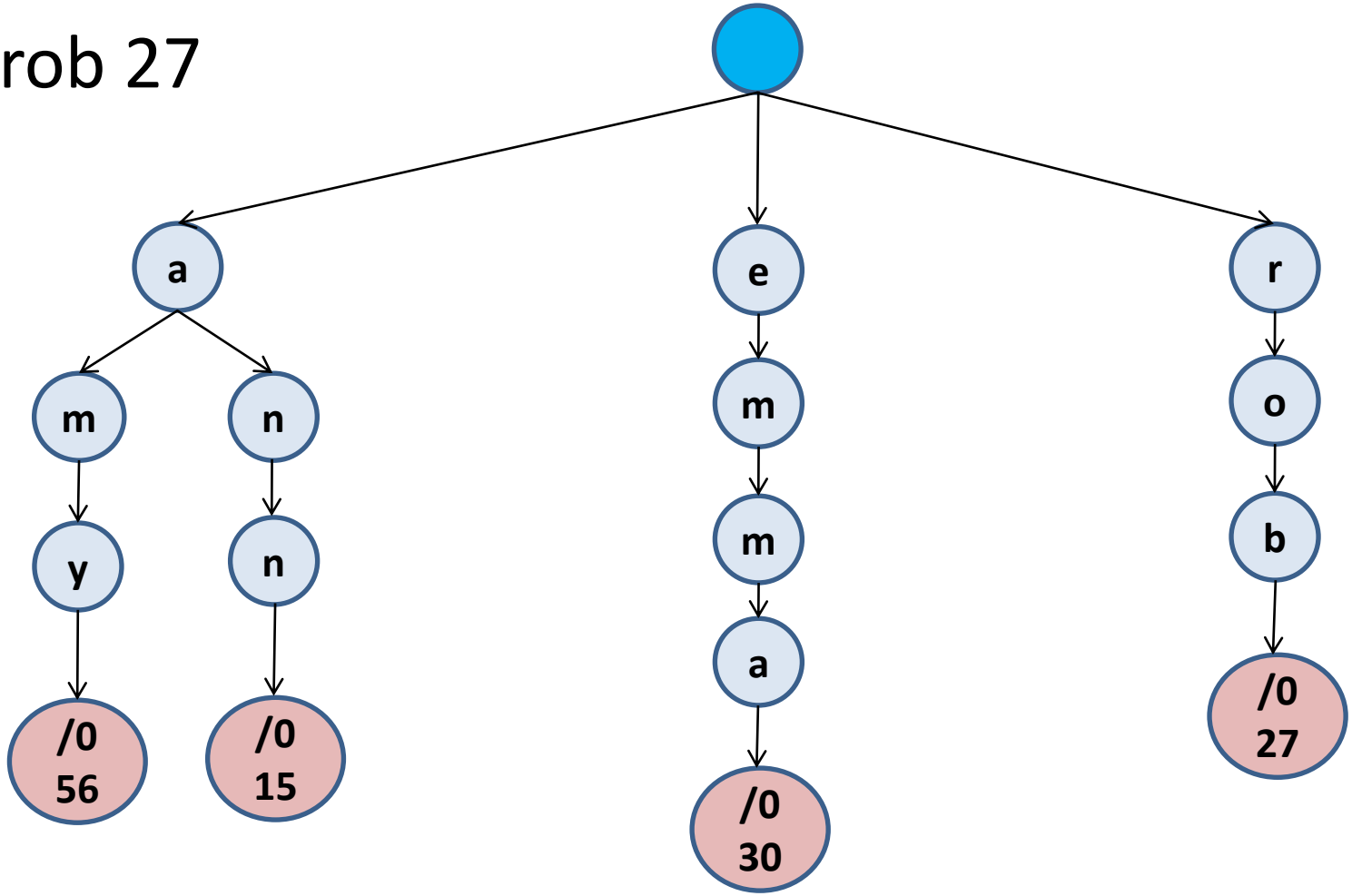
Montando uma árvore TRIE

- INSIRA

rob 27

Montando uma árvore TRIE

- rob 27



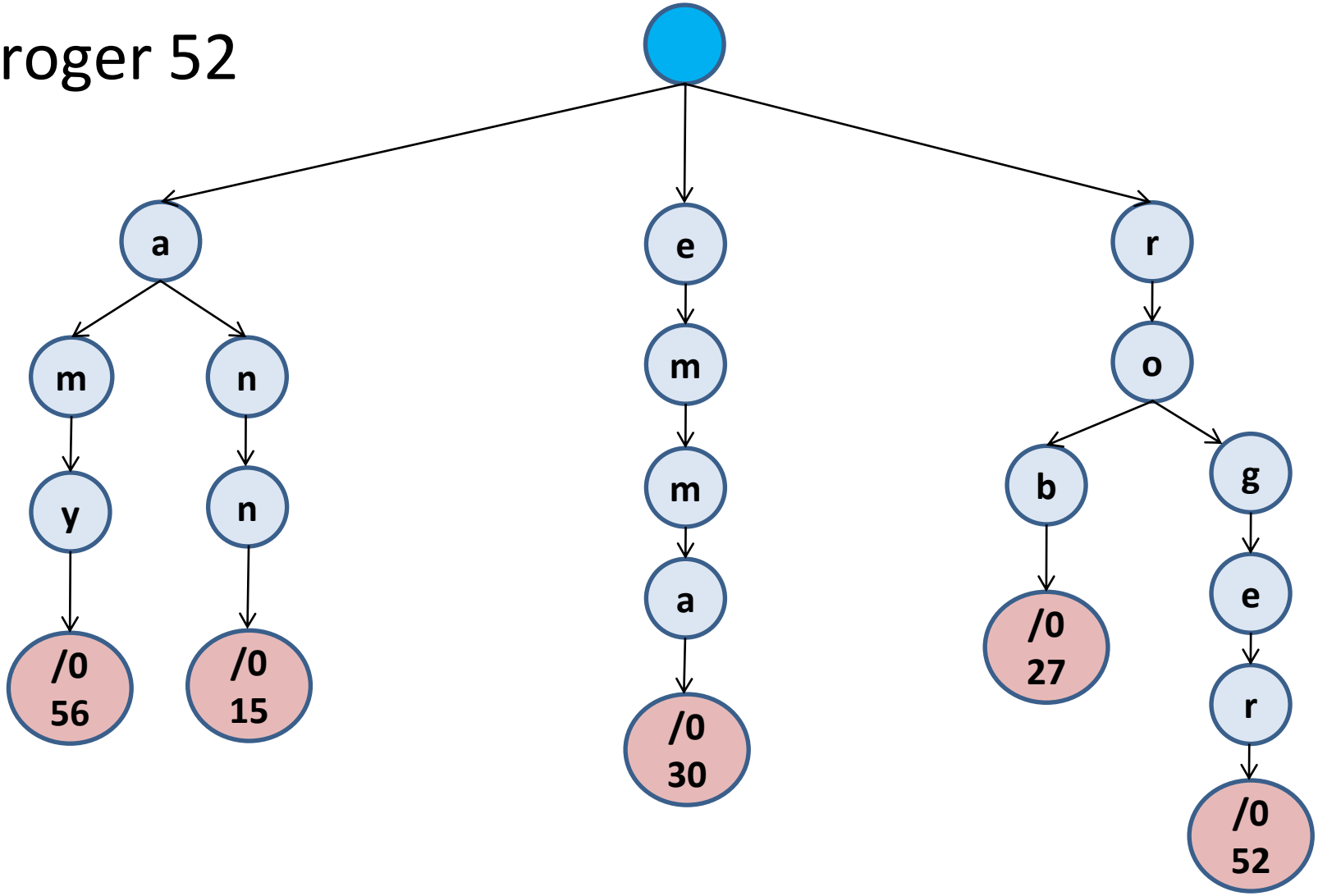
Montando uma árvore TRIE

- INSIRA

roger 52

Montando uma árvore TRIE

- roger 52



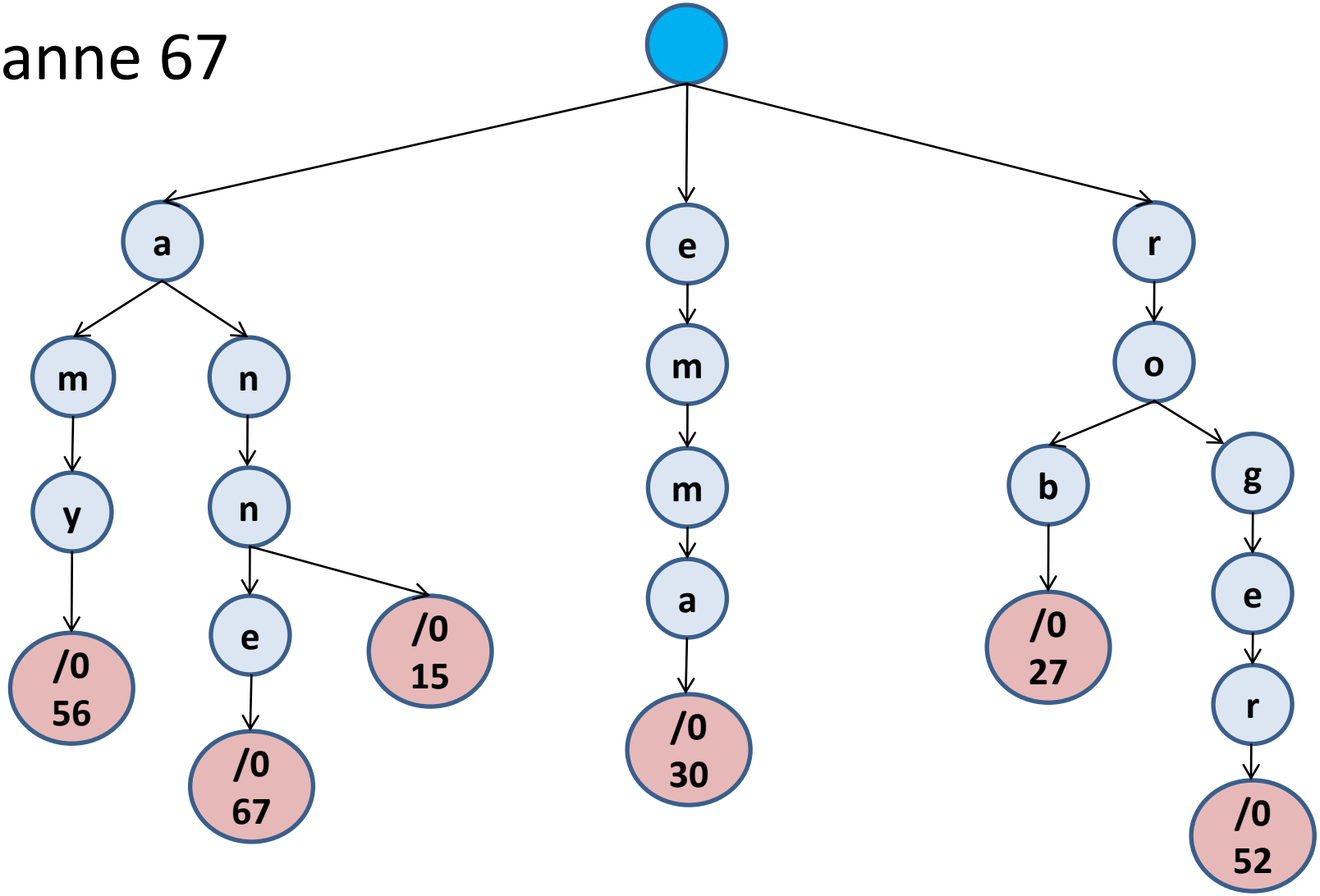
Montando uma árvore TRIE

- INSIRA

anne 67

Montando uma árvore TRIE

- anne 67



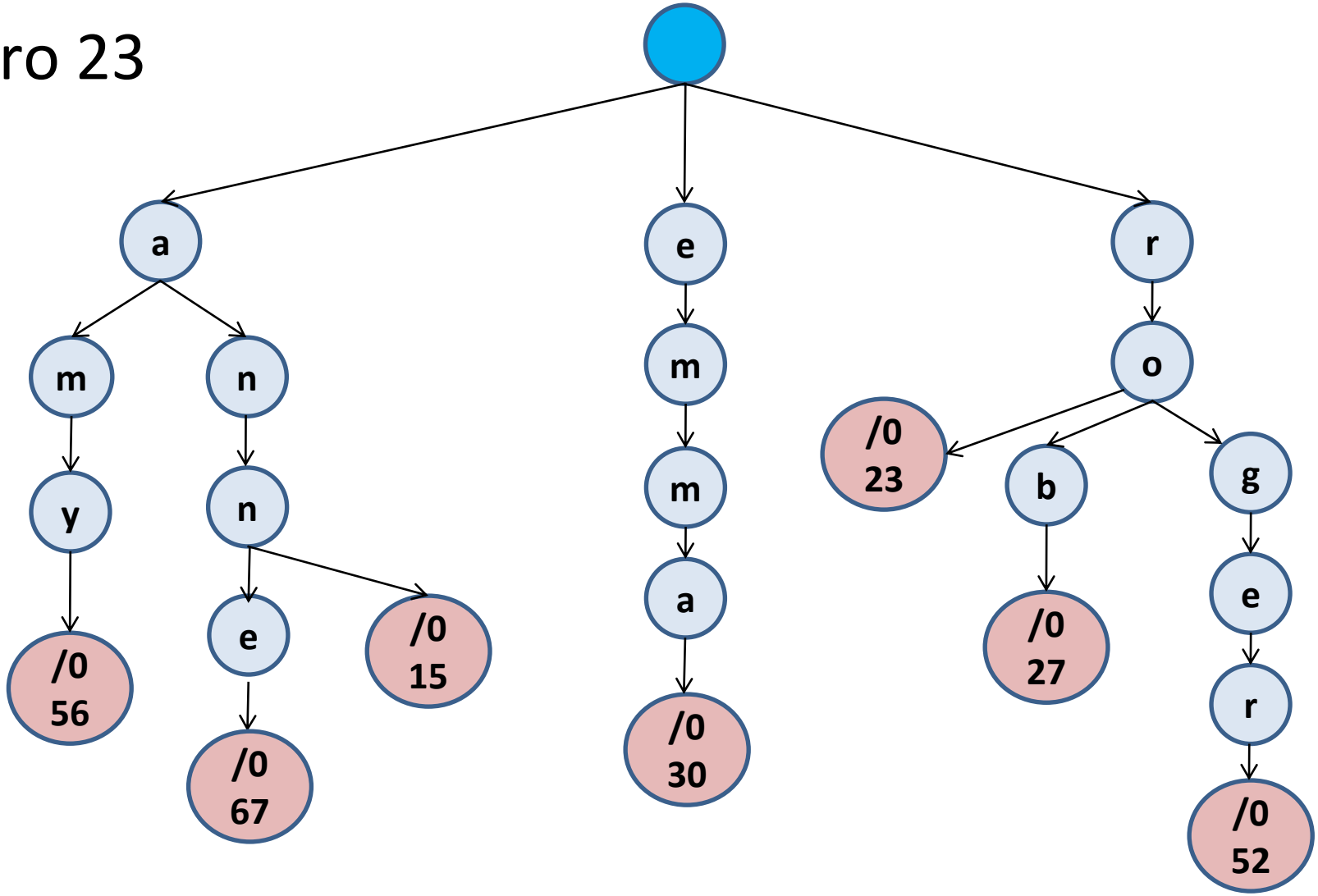
Montando uma árvore TRIE

- INSIRA

ro 23

Montando uma árvore TRIE

- ro 23



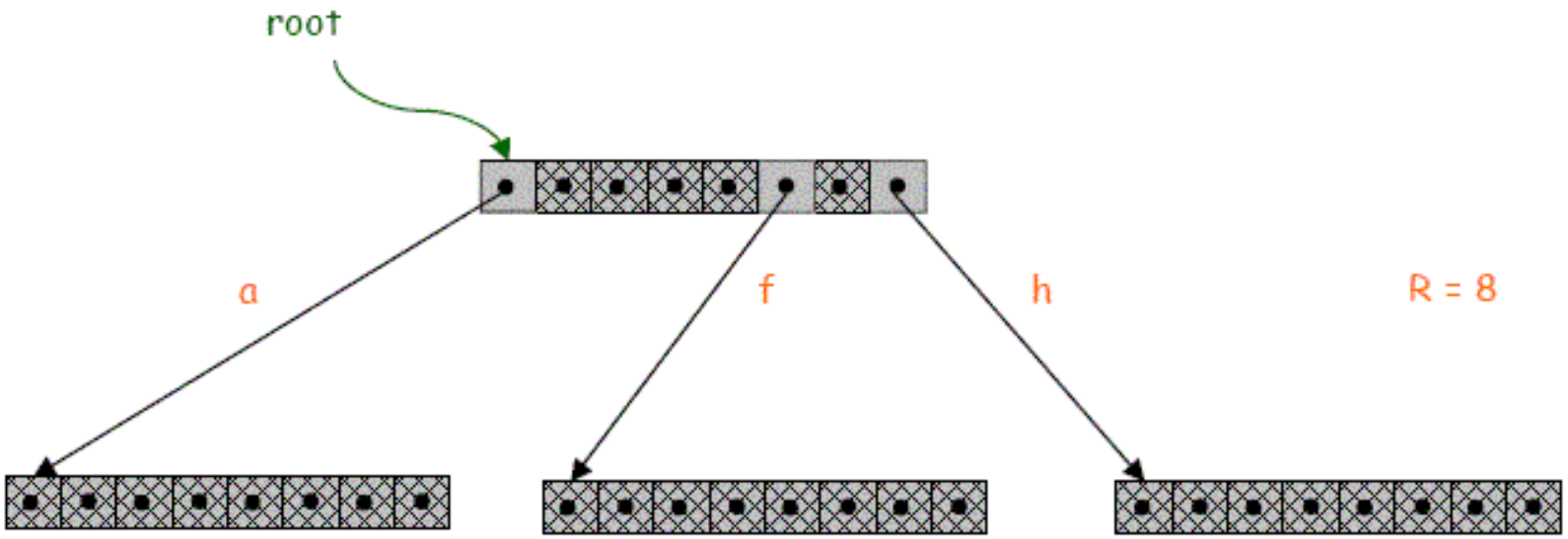
Tipos de TRIES

- Existem muitas variantes e tipos de TRIES:
  - R-WAY
  - TST
  - Patricia
  - ...

Tipos de TRIES

- R-WAY

Cada nó aloca espaço para todo o alfabeto.
Há desperdício de espaço.



Tipos de TRIES

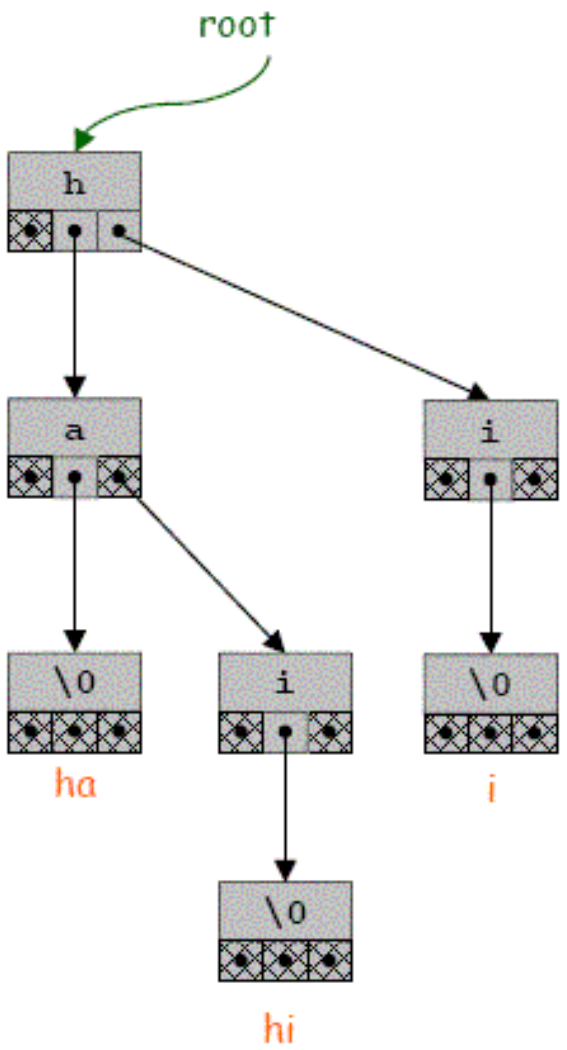
- TST- Ternary Search Tree

Cada nó aloca três ponteiros.

Centro: caractere seguinte.

Filhos da esquerda e direita: caracteres alternativos.

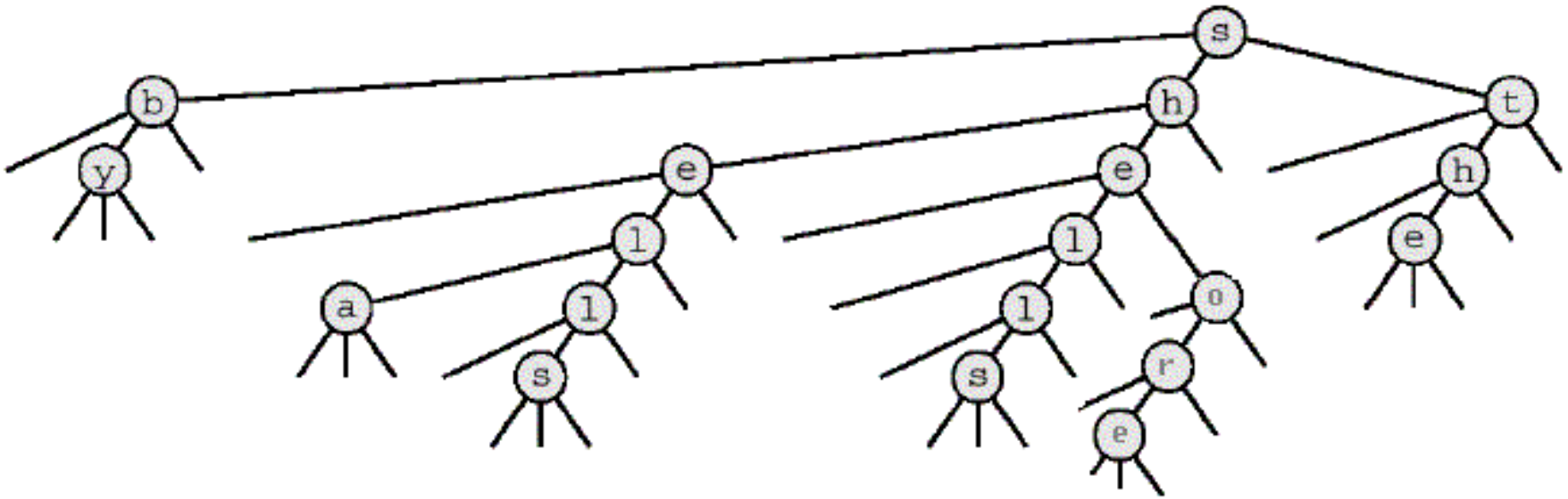
Tem desempenho melhor que o R-WAY no que se refere a espaço.



Tipos de TRIES

- TST- Ternary Search Tree

Chaves: by, sea, sells, shells, shore, the



Operações em TRIES

- SELEÇÃO: “É MEMBRO?”
- INSERÇÃO
- REMOÇÃO

Operações em TRIES

- É MEMBRO?

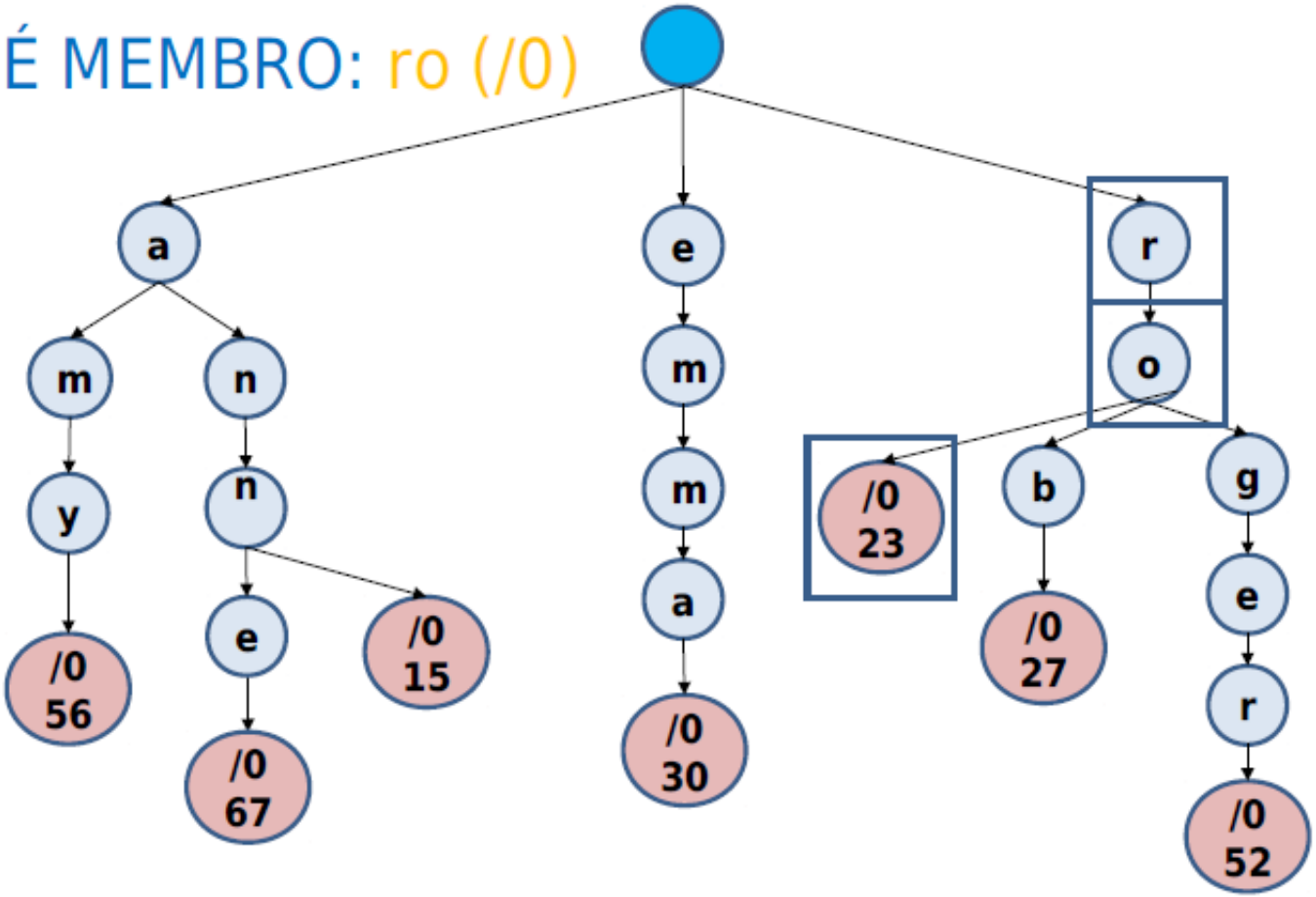
1. Busca o nó que confere com o primeiro (ou atual) caractere da chave
2. Se nenhum, retorna FALSO

   Senão
3. Se o caractere que confere é \0, retorna VERDADEIRO

   Senão
4. Move para a subTRIE que confere com esse caractere
5. Avança para o próximo caractere na chave
6. Vá para Passo 1

Operações em TRIES

- É MEMBRO: ro (/0)



Operações em TRIES

- INSERÇÃO

  Faz-se uma busca pela palavra a ser inserida.

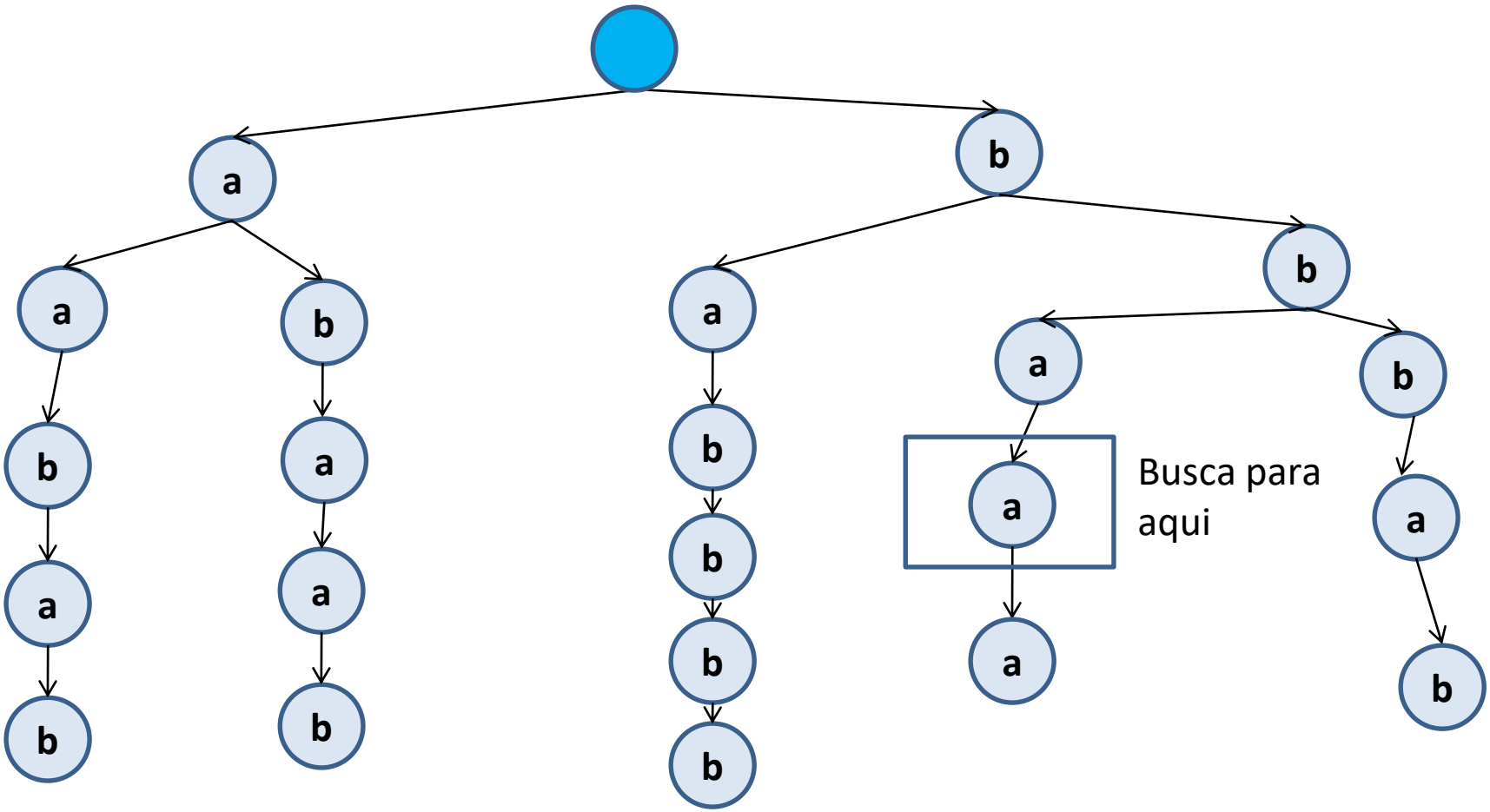
  Se ela já existir na TRIE nada é feito, ou adiciona-se alguma informação no terminal.

  Caso contrário, é recuperado o nó até onde acontece a maior prefixo da palavra a ser inserida.

  O restante dos seus caracteres são adicionados na TRIE a partir daquele nó.

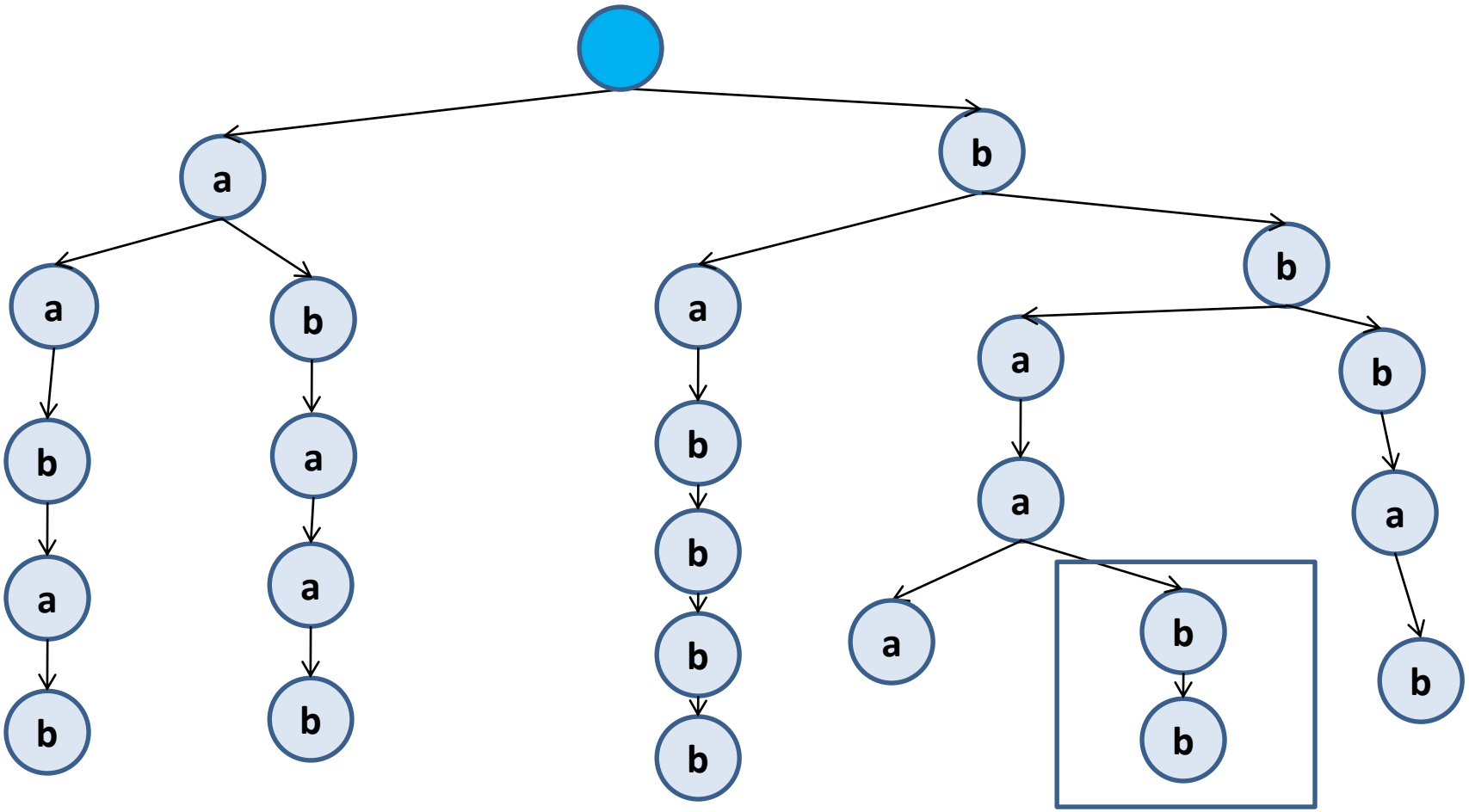
Operações em TRIES

Inserção : bbaabb



Operações em TRIES

Inserção : bbaabb



Operações em TRIES

- REMOÇÃO

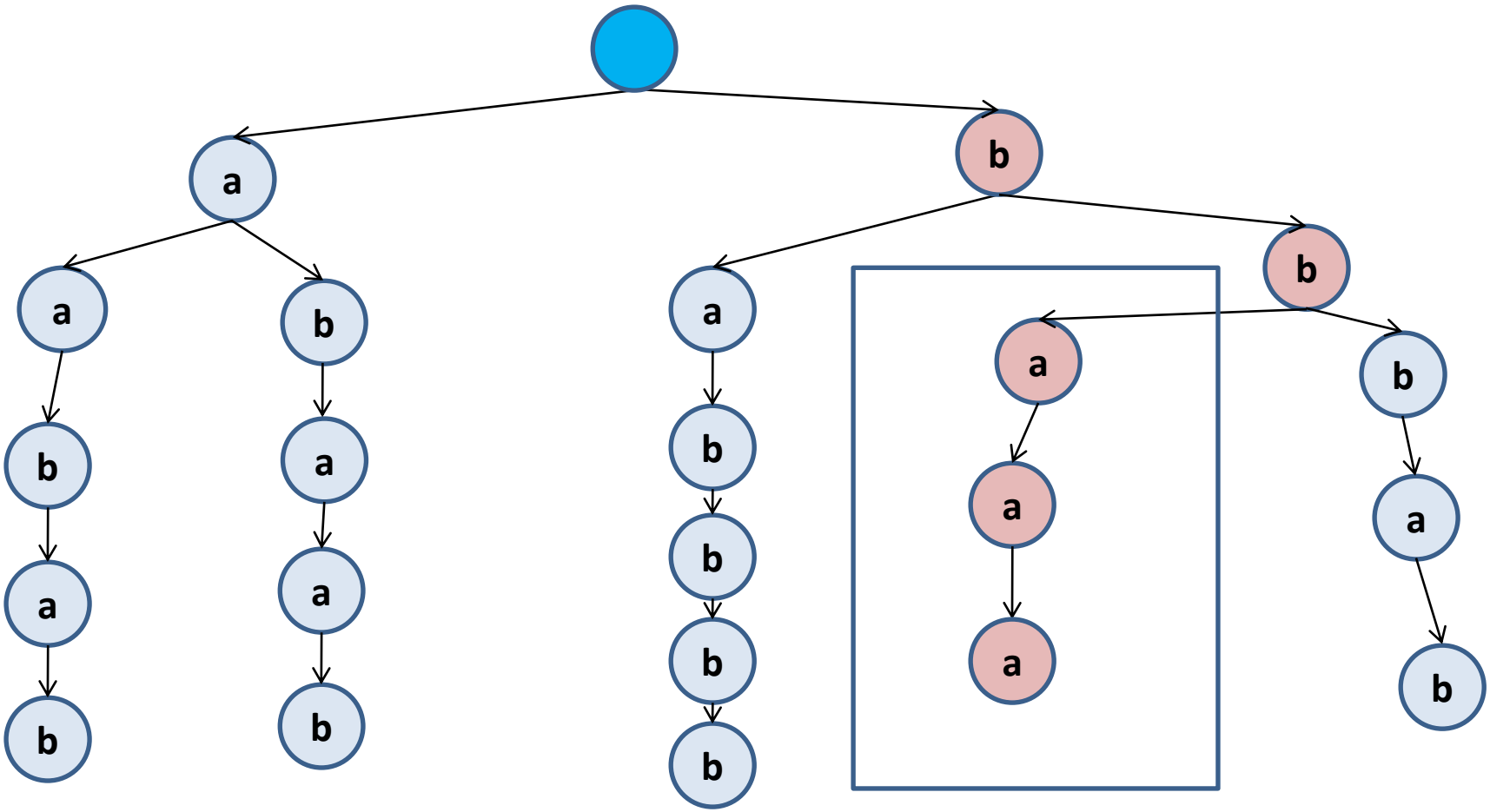
  Busca-se o nó que representa o final da palavra a ser removida.

  São removidos os nós que possuem apenas um filho pelo caminho ascendente.

  A remoção é concluída quando se encontra um nó com mais de um filho – considerar os nós terminais.

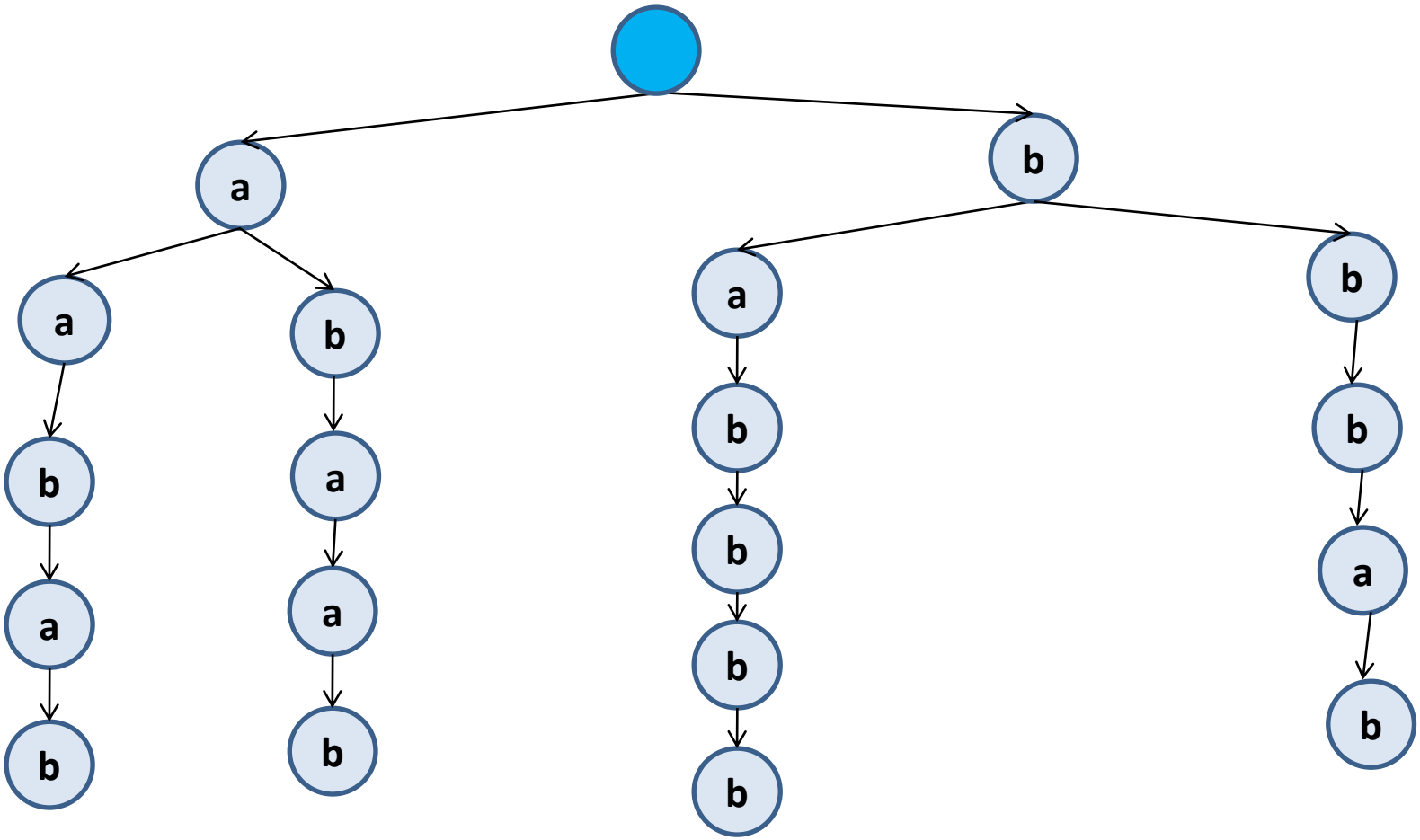
Operações em TRIES

Remoção : bbaaa



Operações em TRIES

Remoção : bbaaa



Análise

- A altura da árvore TRIE é igual ao comprimento da chave mais longa, com isso, o tempo de execução das operações **não** depende do número total de chaves.

- De fato, visita-se no máximo $K + 1$ nós da árvore TRIE e gasta-se tempo $O(A)$ em cada nó para determinar a posição do dígito corrente na ordenação do alfabeto.

  Complexidade: $O(KA)$

  K = tamanho da chave

  A = tamanho do alfabeto

Análise

- Usando busca binária, a **seleção** pode ser realizada em tempo de resposta logarítmico em relação ao tamanho do alfabeto.

  Complexidade: $O(K \log(A))$

- A mesma implementação pode ser usada na **inserção**:

  Complexidade: $O(K_1 \log(A) + K_2 A)$

$K = K_1 + K_2$: tamanho da chave a ser inserida;

K_1: tamanho do maior prefixo comum a chave a ser inserida e a alguma outra chave da árvore;

K_2: número de nós a serem (efetivamente) incluídos na árvore.

- A **remoção** depende do tamanho da chave, no máximo.

Considerações

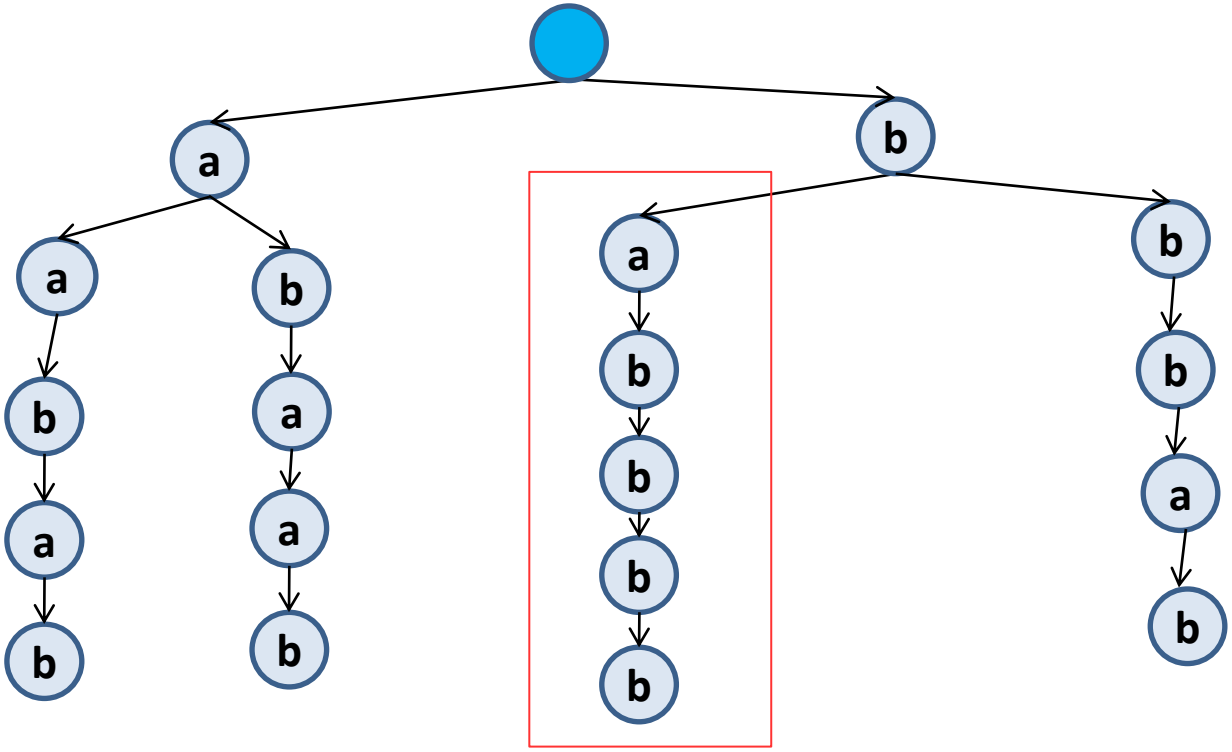
- A pesquisa digital é uma base importante para tratamento de grandes arquivos e quando as chaves têm tamanho arbitrário e variável. Por exemplo, na área de linguística.

- Existem potencialmente muitos nós na árvore TRIE que possuem apenas um filho, e a existência desses nós é um desperdício. Em alguns casos, o total de nós poderá ser maior que o número de palavras no texto.

- Assim, a técnica da pesquisa digital é tão mais eficiente quanto maior for a quantidade de chaves com prefixos comuns. Uma TRIE com muitos “zigue-zagues” é quase sempre ineficiente.

Considerações

- Um zigue-zague de uma árvore é uma subárvore cujos nós possuem um único filho.



Aplicações das TRIES

Aplicação usual de TRIE é o **corretor ortográfico**. Nesse tipo de programa as palavras são comparadas com um dicionário armazenado em arquivo e, caso não sejam encontradas, indica-se as opções para correção.

Corretor ortográfico

- Com o dicionário armazenado numa TRIE, pode-se percorrer essa estrutura letra por letra para encontrar, ou não a palavra testada.

- Caso seja detectado um “erro”, o algoritmo verifica a possibilidade de ocorrência de cada um dos tipos de erros para poder indicar as opções de correção.

Corretor ortográfico

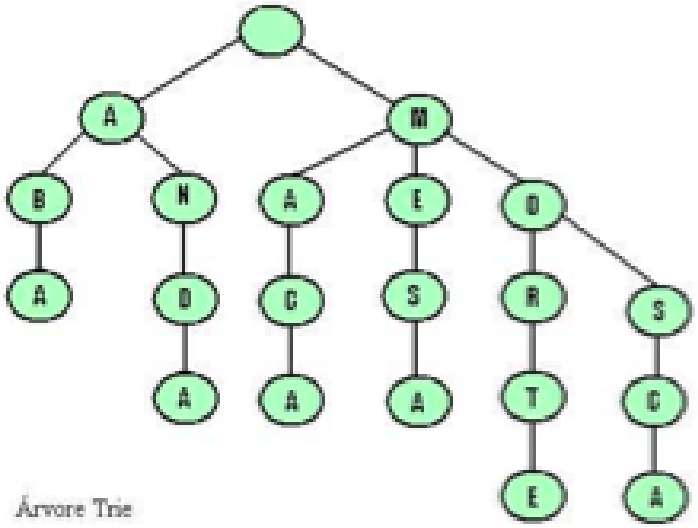
1. **Substituição** - avança um caractere na chave e avança um nível na árvore.

1. **Deleção** - avança um nível na árvore.

1. **Inserção** - avança um caractere na chave.

1. **Transposição** - avança um nível na árvore e testa a posição atual da chave, se coincidir, avança um caractere na chave e retrocede um nível na árvore para confirmar a inversão.

Corretor ortográfico



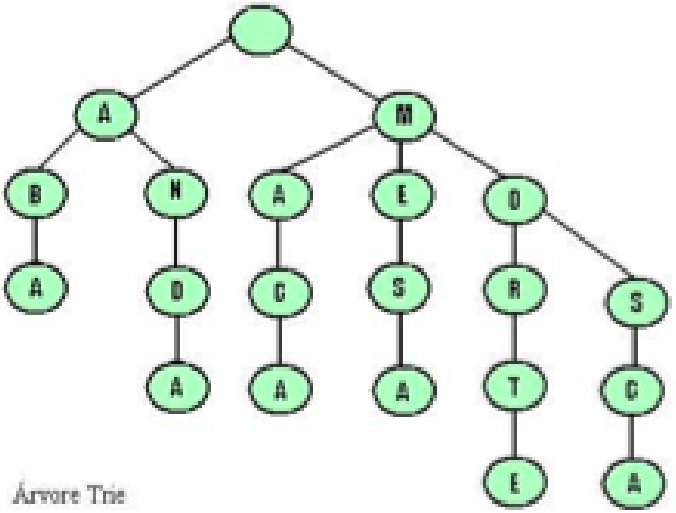
Árvore Trie

Com as seguintes palavras: **ABA, ANDA, MACA, MESA, MORTE, MOSCA.**

Digamos que a chave a ser testada seja ADA, onde ocorreu erro na tentativa de escrever ABA. Será realizada a seguinte seqüência de testes :

* A = A - ok
* D = B - **erro**
* D = N - **erro**
* próximo passo avança na chave e na árvore (substituição)
* A = A - ok

Corretor ortográfico



Árvore Trie

Detectado erro de substituição, onde a letra B foi substituída por D. Nesse ponto o algoritmo pode parar e apresentar as opções de correção, ou continuar verificando ocorrência dos outros tipos de erros a partir do ponto em que foi encontrada divergência entre o dicionário e a chave.

Vamos então analisar o teste de erro de deleção para a mesma chave.

* A = A - ok * D = B - erro * D = N - erro

* próximo passo avança somente na árvore (deleção)

* D = A - erro * D = D - ok * A = A - ok

Detectado erro de deleção, onde a letra N foi suprimida da chave.

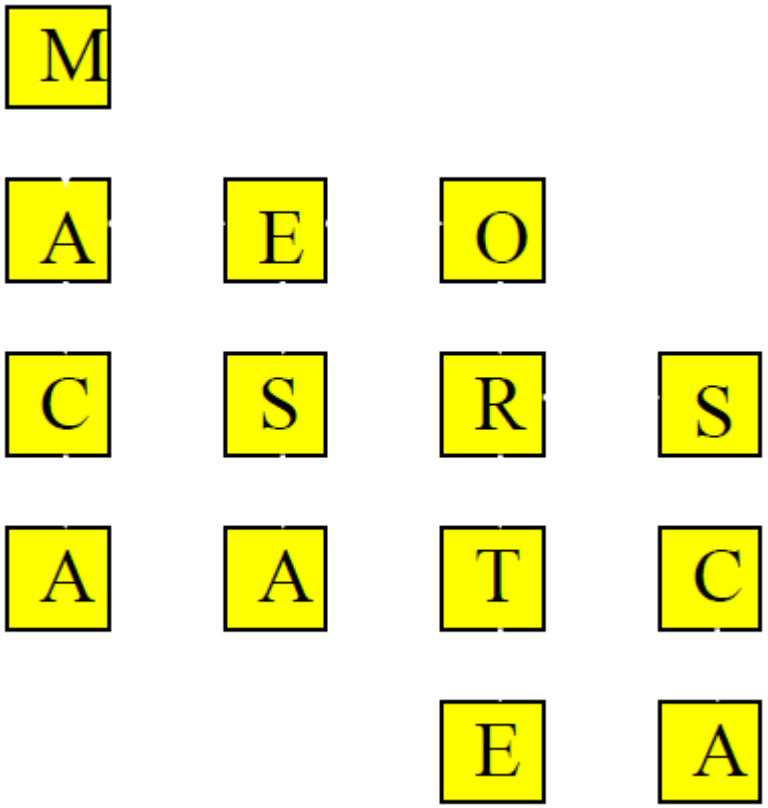
Aplicações das TRIES

Autopreenchimento

- Armazena as palavras mais usadas em uma árvore TRIE. A medida que vai digitando exibe as opções possíveis de palavras já usadas.

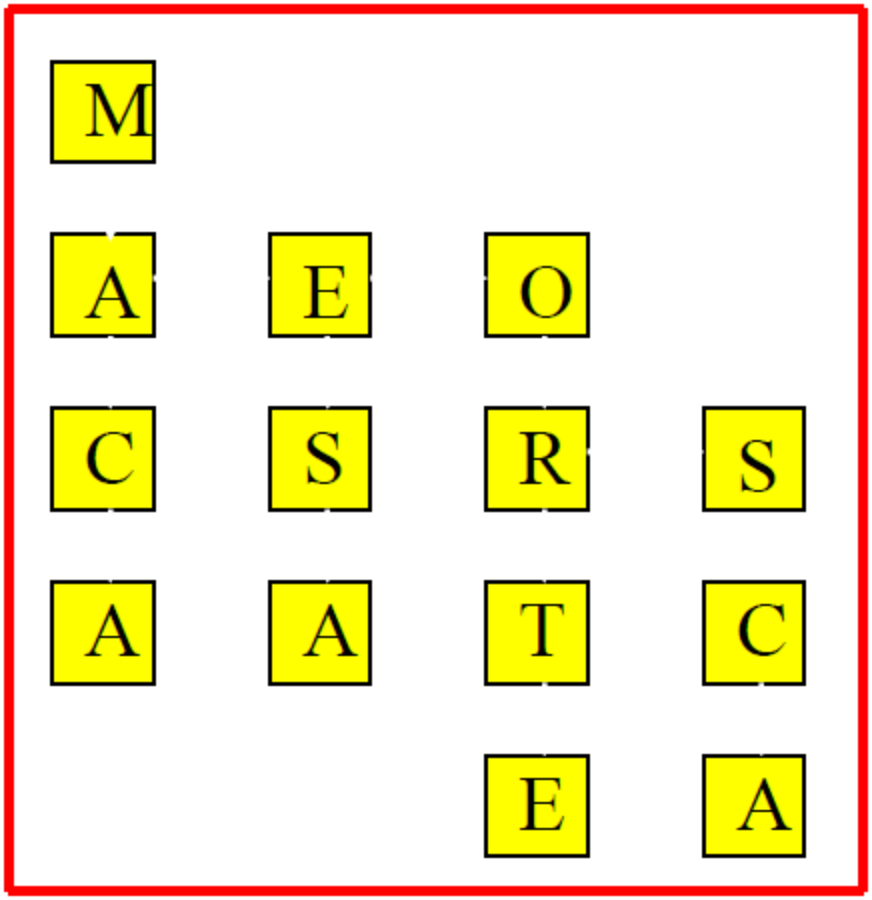
- Utilizado em várias aplicações: browsers, programas de e-mail, IDEs de linguagens de programação, etc.

Autopreenchimento



MOSCA

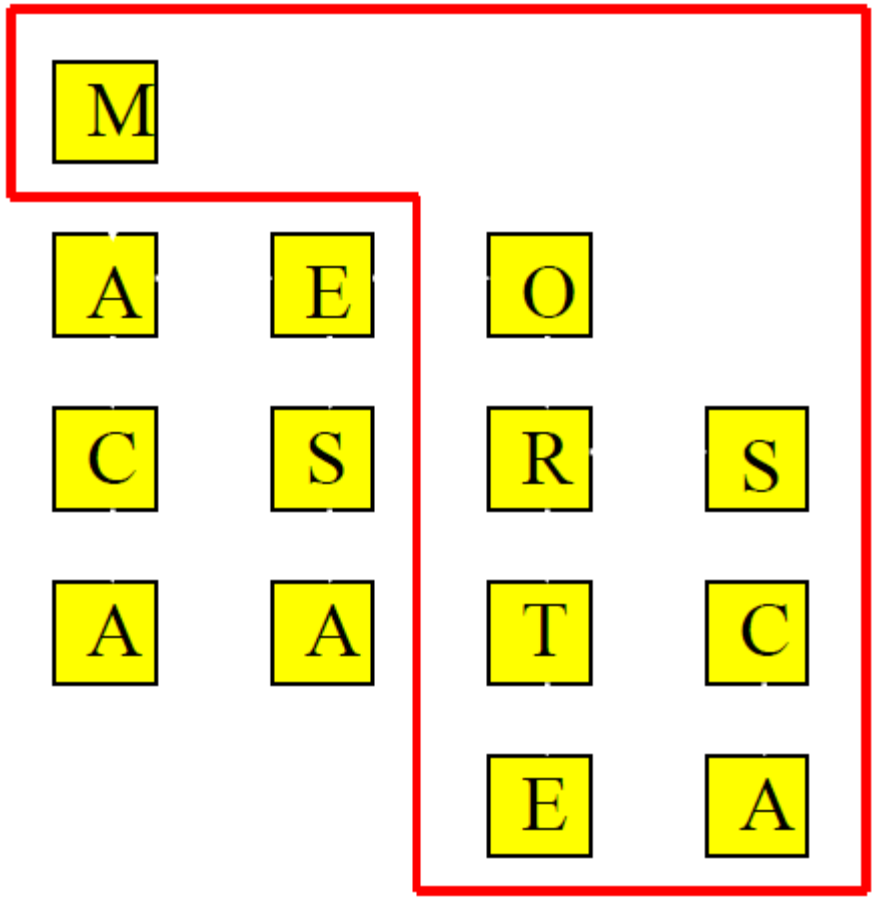
Autopreenchimento



M O S C A

maca
mesa
morte
mosca

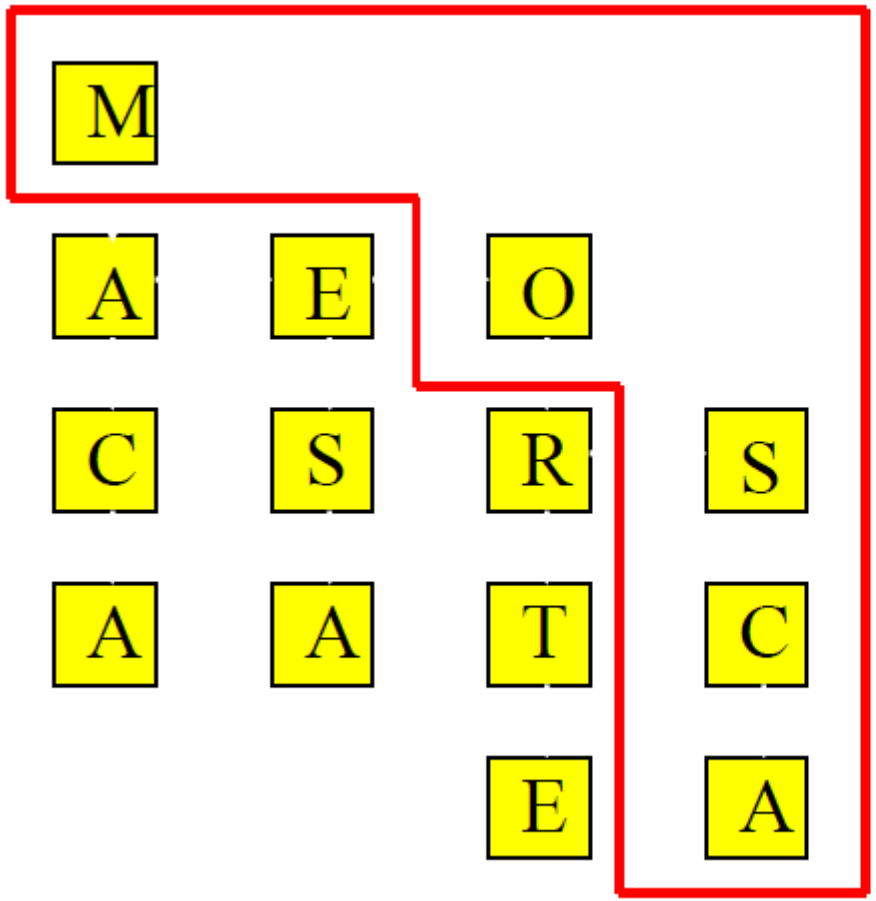
Autopreenchimento



M O S C A

morte
mosca

Autopreenchimento



MOSCA