

# Algoritmos e Complexidade

## LEI/LCC (2º ano)

### 6ª Ficha Prática

O objectivo desta ficha é a análise dos algoritmos de *árvores binárias de pesquisa* e de *heaps*.

1. Uma *árvore binária de pesquisa* é uma árvore binária que verifica a seguinte propriedade: ou a árvore é vazia ou, não sendo vazia, todos os valores da sub-árvore esquerda são menores (ou iguais) do que o da raiz, e todos os valores da sub-árvore direita são maiores do que o que está na raiz. Além disso, as sub-árvores são também árvores binárias de pesquisa.

Considere as seguintes declarações com que se pretende representar uma árvore binária de pesquisa com valores inteiros.

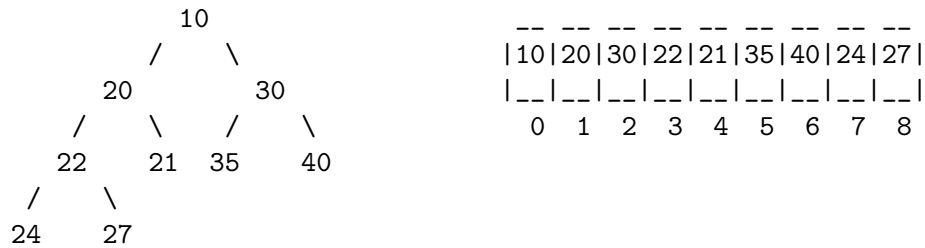
```
typedef struct node {
    int elem;
    struct node *esq;
    struct node *dir;
} Node, *Tree;

Tree insert(Tree t, int x);      // insere um elemento na árvore
Tree extractMin(Tree t, int *x); // extrai o menor elemento da árvore
int exists(Tree t, int x);      // verifica se um elemento está na árvore
int sum(Tree t, int *x);        // calcula a soma de todos os elementos da árvore
```

- Implemente as funções indicadas de forma recursiva e analise o seu tempo de execução.
  - Re-implemente as funções indicadas de forma não recursiva e analise o seu tempo de execução.
2. Uma *(min)-heap* é uma árvore binária que verifica duas propriedades:
    - *shape property*: a árvore é completa, ou quasi-completa.
    - *(min)-heap property*: o conteúdo de cada nó é menor ou igual que o conteúdo dos seus descendentes (não havendo, no entanto, qualquer relação de ordem entre os conteúdos das duas sub-árvores de um mesmo nó).

As heaps têm assim uma implementação muito vantajosa em array, em que a árvore vai sendo disposta por níveis ao longo do array (da esquerda para a direita). O acesso ao nó pai e aos nós filhos é feito de forma directa por aritmética de índices.

Exemplo de uma *min-heap* e sua representação em array:



Considere o seguinte *header file* para **min-heaps** de inteiros.

```

#define MAX          1000
#define PARENT(i)    (i-1)/2    // o índice do array começa em 0
#define LEFT(i)      2*i + 1
#define RIGHT(i)     2*i + 2

typedef int Elem;    // elementos da heap.

typedef struct {
    int    size;
    Elem  heap[MAX];
} Heap;

int insertHeap(Heap *h, Elem x);    // Insere um elemento na heap
void bubbleUp(Heap *h, int i);      // Função auxiliar de inserção: dada uma posição i
                                     // da heap com um novo valor que possivelmente viola
                                     // a propriedade da heap, propaga esse gradualmente
                                     // para cima.

int extractMin(Heap *h, Elem *x);   // Retira o mínimo da heap
void bubbleDown(Heap *h, int i);    // Função auxiliar de remoção: dada uma posição i
                                     // da heap com um valor que possivelmente viola
                                     // a propriedade da heap, propaga esse gradualmente
                                     // para baixo.

```

Apresente uma implementação das operações indicadas e analise o seu tempo de execução.

3. Uma *fila de prioridades* (FP) é uma estrutura de dados abstracta com duas operações:

- *insert*, que insere um novo elemento numa FP;
  - *extractMin*, que extrai o menor elemento de uma FP, isto é, devolve o menor elemento e remove-o da estrutura.
- (a) Explique o funcionamento e efectue a análise assintótica de pior caso do tempo de execução das duas operações sobre esta estrutura de dados no caso de a implementação se basear:
- i. Numa lista ligada;
  - ii. Numa lista ligada ordenada;
  - iii. Numa árvore binária de pesquisa;
  - iv. Numa min-heap.
- (b) Efectue a mesma análise, agora relativamente a uma *sequência* de  $N$  operações efectuadas a partir de uma fila de prioridades inicialmente vazia, correspondendo metade destas a cada uma das operações *insert* e *extractMin*. Baseado neste resultado, compare as 4 soluções acima quanto à sua eficiência global.