

Pascal, basta utilizar a função `ord` que recebe um argumento de um tipo escalar qualquer e retorna o número ordinal dentro do tipo (por exemplo, `ord (true)` é 1 desde que o tipo boolean seja definido como (false, true)).

Várias funções de transformação têm sido estudadas (Knott, 1975; Knuth, 1973). Um dos métodos que funciona muito bem é o que utiliza o resto da divisão por  $M^5$ :

$$h(K) = K \bmod M,$$

no qual  $K$  é um inteiro correspondente à chave, obtido mediante uma soma envolvendo um conjunto de pesos  $p$ :

$$K = \sum_{i=1}^n \text{Chave}[i] \times p[i],$$

em que  $n$  é o número de caracteres da chave,  $\text{Chave}[i]$  corresponde à representação ASCII do  $i$ -ésimo caractere da chave, e  $p[i]$  é um inteiro de um conjunto de pesos gerados randomicamente para  $1 \leq i \leq n$ . A vantagem de usar pesos é que dois conjuntos diferentes de pesos  $p_1[i]$  e  $p_2[i]$ ,  $1 \leq i \leq n$ , levam a duas funções de transformação  $h_1(K)$  e  $h_2(K)$  diferentes. O Programa 5.22 gera um peso para cada caractere de uma chave constituída de  $n$  caracteres.

**Programa 5.22** Geração de pesos para a função de transformação

```
type TipoPesos = array [1..N] of integer;

procedure GeraPesos (var p: TipoPesos);
var i: integer;
begin
  randomize;
  for i:= 1 to N do
    p[i] := trunc (1000000 * random + 1);
end;
```

Este é um método muito simples de ser implementado, conforme ilustra o Programa 5.23. O único cuidado a tomar é na escolha do valor de  $M$ . Por exemplo, se  $M$  é par, então  $h(K)$  é par quando  $K$  é par, e  $h(K)$  é ímpar quando  $K$  é ímpar. Resumindo,  $M$  deve ser um número primo, mas não qualquer primo: devem ser evitados os números primos obtidos a partir de

$$b^i \pm j,$$

<sup>5</sup>Para números reais  $x$  e  $y$ , a operação binária  $\bmod$  é definida como  $x \bmod y = x - y \lfloor x/y \rfloor$ , se  $y \neq 0$ . Quando  $x$  e  $y$  são inteiros, então  $5 \bmod 3 = 2$ ,  $6 \bmod 3 = 0$ .

em que  $b$  é a base do conjunto de caracteres (geralmente  $b = 64$  para BCD, 128 para ASCII, 256 para EBCDIC, ou 100 para alguns códigos decimais), e  $i$  e  $j$  são pequenos inteiros (Knuth, 1973, p. 509).

**Programa 5.23** Implementação da função de transformação

```
type TipoChave = packed array [1..N] of char;
  TipoIndice = 0..M - 1;
function h (Chave: TipoChave; p: TipoPesos): TipoIndice;
var i, Soma: integer;
begin
  Soma := 0;
  for i:= 1 to N do Soma := Soma + ord (Chave[i]) * p[i];
  h := Soma mod M;
end; { h }
```

A seguir vamos apresentar uma modificação no cálculo da função  $h$  do Programa 5.23 para evitar a multiplicação da representação ASCII de cada caractere pelo peso. Esta proposta foi apresentada por Zobrist (1990). Este é um caso típico de **troca de espaço por tempo**. Para isso nós vamos gerar randomicamente um peso diferente para cada um dos 256 caracteres ASCII possíveis na  $i$ -ésima posição da chave, para  $1 \leq i \leq n$ . O Programa 5.24 apresenta a geração de pesos para a nova função.

**Programa 5.24** Geração de pesos para a função de transformação  $h$  de Zobrist

```
const TAMALFABETO = 256;
type TipoPesos = array [1..N, 1..TAMALFABETO] of integer;

procedure GeraPesos (var p: TipoPesos);
var i, j: integer;
begin
  randomize;
  for i:= 1 to N do
    for j:= 1 to TAMALFABETO do
      p[i, j] := trunc(1000000 * random + 1);
end; { GeraPesos }
```

O Programa 5.25 mostra a implementação da função *hash* de Zobrist. Para obter  $h$  é necessário o mesmo número de adições da função gerada pelo Programa 5.23, mas nenhuma multiplicação é efetuada. Isto faz com que  $h$  seja computada de forma mais eficiente. Nesse caso, a quantidade de espaço para armazenar  $h$  é  $O(n \times |\Sigma|)$ , onde  $|\Sigma|$  representa o tamanho do alfabeto, enquanto que, para a função do Programa 5.23, é  $O(n)$ .