

Discente.....: Paulo Henrique Diniz de Lima Alencar.

Matrícula.....: 494837.

Curso.....: Ciência Computação.

Compreendeu e descreveu corretamente o algoritmo de Huffman 3 pontos
Apresentou a descrição passo-a-passo dos testes realizados 2 pontos
Apresentou a codificação correta do algoritmo: 3 pontos

Nota Final: 8,0 pontos

Trabalho Prático - Estrutura de Dados - Compactado Arquivos

1. INTRODUÇÃO:

Muito legal a forma definida para explicar o código e o algoritmo.

Em resumo, o código de Huffman trata-se de uma codificação de caracteres que permite compactar arquivos de texto, isto é, eu posso representar um arquivo de texto 'x' por um arquivo de texto 'y', porém com tamanho bem menor (arquivo com menos bytes).

O método segue os seguintes passos: buscamos calcular a frequência com que determinados caracteres aparecem em um determinado conjunto de dados. A partir dessas frequências podemos agora montar a árvore binária de Huffman. Com essa árvore em mãos, podemos gerar códigos para representar cada caractere, porém devemos atribuir aos caracteres de maior frequência, uma curta quantidade de bits para representá-lo, isso porque, queremos que no fim do processo aconteça uma redução de bytes do conjuntos de dados em questão (RIBEIRO, 2015).

Primeiro vou tentar realizar a construção e a codificação desse algoritmo. Tentarei implementar uma função para comprimir um arquivo .txt e em seguida vou buscar realizar a descompactação.

2. VISÃO GERAL DO FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA:

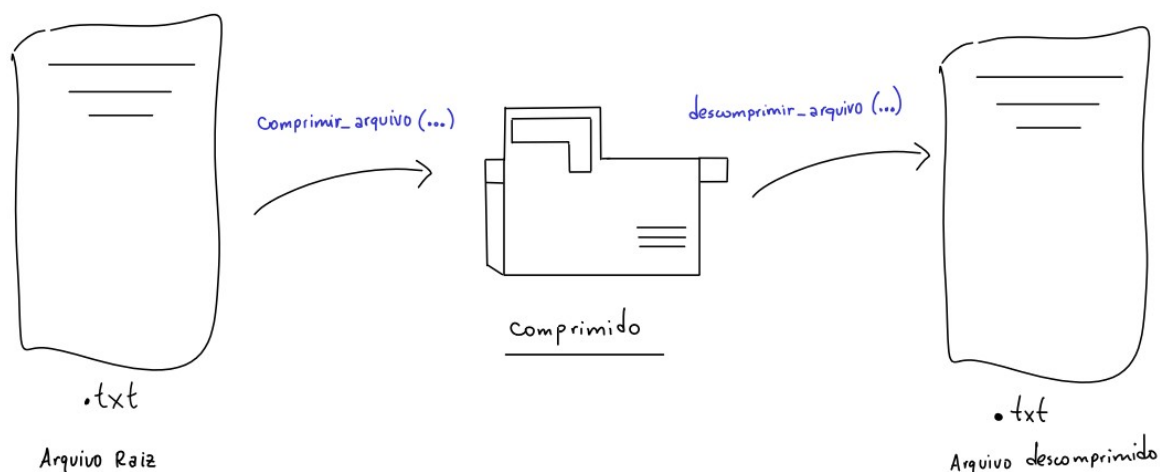
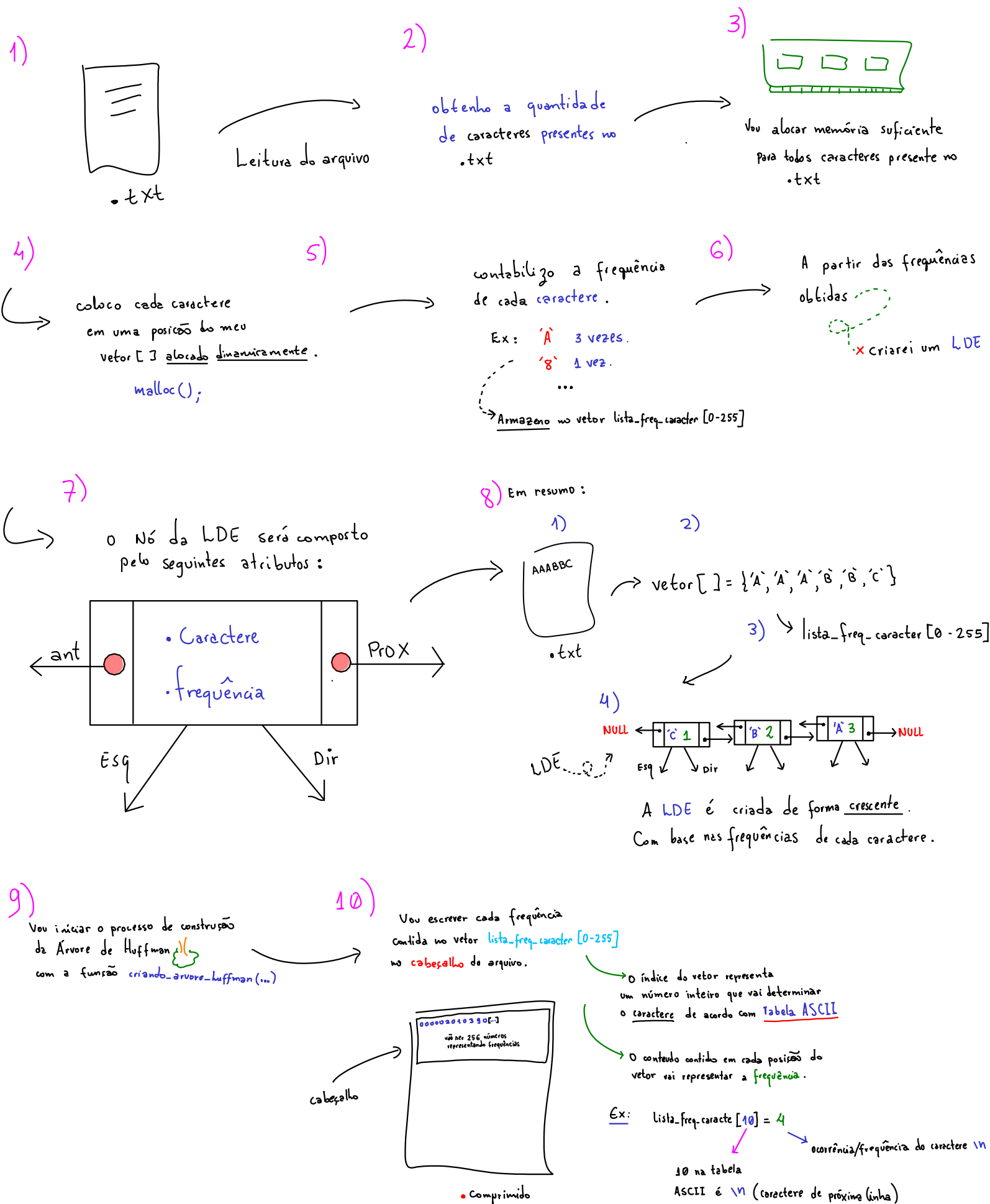



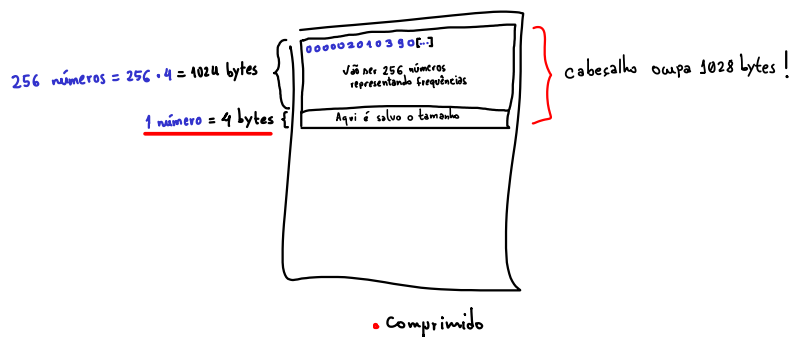
Imagem 1 – o uso das duas funções principais do programa.

Visão Geral sobre o funcionamento do programa:



Vou obter o tamanho da cadeia
de bits gerada pela  de Huffman,
que corresponde ao texto contido do .txt
original.

Vou escrever no cabeçalho do arquivo um número decimal que corresponde o tamanho da cadeia de bits gerada pela



Ex: A 001
B 1
[-]

Em seguida pegamos as cadeias de bits (gerado pela função gera_codigo(...)). Essa cadeia de bits vai possuir TAMANHO VARIÁVEL, Ex: 0011 ou 00011101 ou 00011100011.

Então a partir dessa cadeia recebida, eu vou converter ela para um número decimal. Porém, esse número decimal decimal deve SEMPRE ser formado por 8 bits.

→ 8 bits

Logo, se eu receber uma cadeia de bits composta por 5 bits, Ex: 01101, eu preciso ESPERAR outra cadeia chegar para pegar os outros 3 bits que estão faltando para assim completar os 8 bits.

Suponha que a 1ª cadeia que chegou foi: 01101 \rightarrow faltam 3 bits \rightarrow 2ª cadeia que chegou foi: 110101 \rightarrow concateno 01101 + 110101
 vou precisar desses 3 primeiros bits

→ Agora completou 8 bits que precisava [01101110]
Resultado final

- Esse processo foi feito utilizando: **FILAS** - utilizadas para armazenar os **8 bits**, cada bit em um **Nó**. **OBS:** cada fila é desalocada da memória quando atinge tamanho = 8.



VETORES - utilizados para guardar alguns bits, que acabam sobrando no momento em que é feito a transferência dos bits, para as FILAS. Os vetores vão ser importantes, pois às vezes vão chegar cadeias de bits da seguinte forma: 1011 (4 bits), então preciso de +4 bits, para assim completar 8 bits.

No entanto, a próxima cadeia que chegou possui 1011101 (7 bits). Preciso somente dos 4 primeiros bits, mas não posso perder os 3 bits restantes. Portanto, preciso armazenar esses 3 últimos bits no vetor [...] para não perder esses bits.

14)

[01101110]

Resultado final

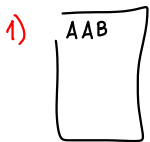
Utilizando a função `converte_binario_para_decimal(...)`
converto esses 8 bits para um número decimal, em seguida para um caractere ASCII equivalente ao número decimal.

Exemplo:

- Entrada em binário: 01101110 → Aqui eu tinha 8 bytes, pois $8 * [\text{char}] = 8 \text{ bytes}$.
 - Processamento.....: 110 em decimal → Aqui eu tenho 4 bytes, pois é um $n = [\text{inteiro}]$.
 - Saída - ASCII.....: n → Aqui eu tenho 1 byte, pois é um $[\text{char}]$.
- Escrevo o caractere n no arquivo.

Esse processo é feito com todas as cadeias de bits que a árvore de Huffman gerou.

* Mas por que realizar esse processo ?



.txt

Arquivo que quero comprimir



A A B

3)

Se eu fosse escrever esses 8 bits [01101110] no arquivo comprimido eu já ocuparia 8 - 1 byte = 8 bytes, fora os bytes ocupados pelo cabeçalho.

4)

Por outro lado, se eu converter essa cadeia [01101110] para um número decimal, vamos obter o número 110, isto é, um inteiro de 4 bytes. Perceba que aconteceu um Redução de bytes, mas mesmo assim continuamos com nosso dado coerente.

5) Podemos melhorar ainda mais a nossa compressão.

- 110 corresponde ao caractere n na Tabela ASCII.
- Então, se antes precisávamos de 4 bytes para armazenar o 110, agora vamos precisar de somente 1 byte para escrever o 'n' no arquivo comprimido.

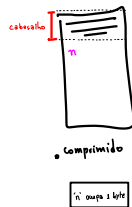
∴ ocorreu uma redução dos números de bytes para representar AAB

1 byte 1 byte 1 byte

3 bytes

E agora, o caractere 'n' ocupa somente 1 byte.

6) Para descomprimir, basta fazer o processo contrário.



n → é o 110 em ASCII → 110 em binário é 1101110

completo os bits restantes 01101110 → 01101110

A A B



.txt

descomprimido

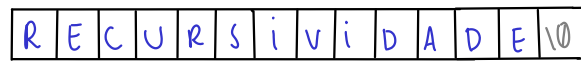
AAB ocupa 3 bytes

Esse é um processo resumido do funcionamento geral do programa!

* Criação da  de Huffman:

1) Ex: possui a palavra RECURSIVIDADE

2) Palavra é colocada em um VETOR []:



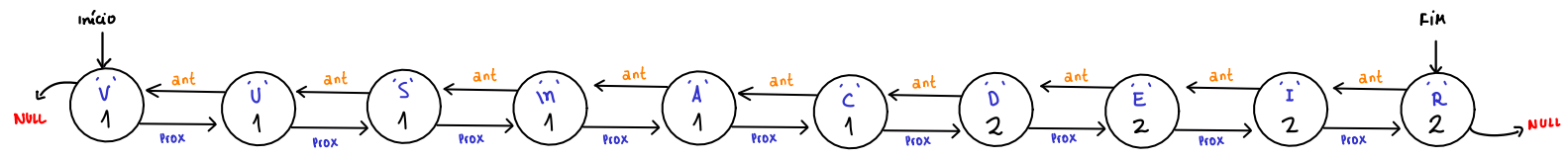
3) A função `ocorrencia_caractere(...)` conta a ocorrência de cada caractere no vetor e adiciona no vetor:


`lista_freq_caracter [0-255]`

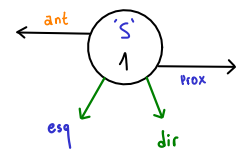
Em seguida, cria um Nó que possui o caractere e sua frequência e add na LDE.

OBS: a função `insere_no_na_lista(...)` sempre add na LDE deixando ela ordenada.

tamanho = 10

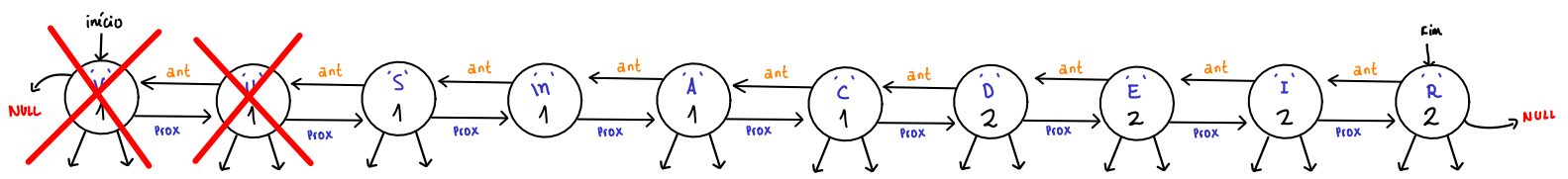


porém, minha LDE possui a seguinte particularidade: Além dos mecanismos de ligação `prox` e `ant`, minha LDE possui o mecanismo de ligação `esq` e `dir` (são importantes para a Montagem da ). Então imagine que cada Nó da lista duplamente encadeada é da seguinte forma:



Montagem: Algoritmo de Huffman

1) Removemos 2 nós que possuem menores frequência:



```
printf("..... PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE ..... \n");
imprimir_lista();
// Algoritmo de construção da Árvore de Huffman:
while (tam > 1) {
    // 2°
    filho0 = remover_menor();
    filho1 = remover_menor();

    // 3° e 4°
    pai = criando_no_arvore('+', filho0 -> freq, filho1 -> freq);
    pai -> esq = filho0;
    pai -> dir = filho1;

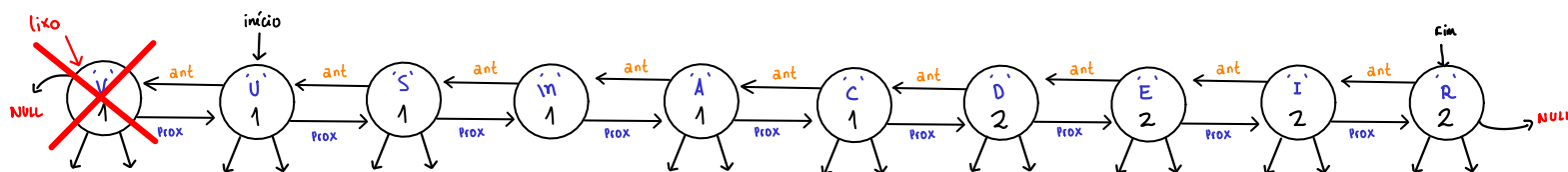
    // 5°
    insere_no_na_lista('+', 0, pai);

    printf("\n");
    imprimir_lista();
    printf("\n");
}

pai = remover_menor();
return pai; // Raiz da Árvore de Huffman.
```

Removendo os 2 nós de menores frequências.

Remoção - demonstração:



```

No* remover_menor () {
    No* lixo;

    lixo = inicio;
    inicio = inicio -> prox;

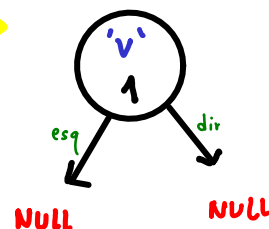
    // Realizando cópia do nó que será removido:
    No* menor = (No*) malloc (sizeof(No));
    menor -> freq = lixo -> freq;
    menor -> c = lixo -> c;

    // Se o Nó que desejo remover, tem filhos:
    if (lixo -> esq != NULL || lixo -> dir != NULL) {
        menor -> esq = lixo -> esq;
        menor -> dir = lixo -> dir;
    }
    // Se o Nó que desejo remover, não possui filhos.
    else {
        menor -> esq = NULL;
        menor -> dir = NULL;
    }

    tam--;
    free(lixo);

    return menor;
}

```



X desalocando nó da

2) Após Remover os 2 nós, que possuíam as menores frequências precisamos criar e copular o Nó pai e em seguida ligar os filhos ao pai:

```

printf("..... PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE ..... \n");
imprimir_lista();
// Algoritmo de construção da Árvore de Huffman:
while (tam > 1) {
    // 2°
    filho0 = remover_menor();
    filho1 = remover_menor();

    // 3°
    pai = criando_no_arvore('+', filho0 -> freq, filho1 -> freq);
    pai -> esq = filho0;
    pai -> dir = filho1;

    // 5°
    insere_no_na_lista ('+', 0, pai);

    printf("\n");
    imprimir_lista();
    printf("\n");

    pai = remover_menor();

    return pai; // Raiz da Árvore de Huffman.
}

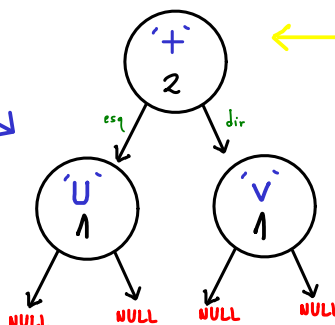
```

```

No* criando_no_arvore (char ch, int freq0, int freq1) {
    No* pai = (No*) malloc (sizeof(No));
    pai -> esq = NULL;
    pai -> dir = NULL;
    pai -> prox = NULL;
    pai -> ant = NULL;
    pai -> freq = freq0 + freq1;
    pai -> c = ch;

    return pai;
}

```



• OBS: frequência do pai é igual a soma das frequências dos 2 nós removidos.

3) Agora preciso ir conectando o Nó pai aos outros nó, para assim ir criando a  de Huffman:

```
printf("..... PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE ..... \n");
imprimir_lista();
// Algoritmo de construção da Árvore de Huffman:
while (tam > 1) {
    // 2°
    filho0 = remover_menor();
    filho1 = remover_menor();

    // 3° e 4°
    pai = criando_no_arvore('+',filho0 -> freq, filho1 -> freq);
    pai -> esq = filho0;
    pai -> dir = filho1;

    //5°
    insere_no_na_lista ('+', 0, pai);

    printf("\n");
    imprimir_lista();
    printf("\n");
}

pai = remover_menor();

return pai; // Raiz da Árvore de Huffman.
```

```
// Procedimento: responsável por inserir um Nó em uma Lista Duplamente Encadeada, de Maneira 'Ordenada' e crescente.
void insere_no_na_lista (char c, int freq, No* x) {
    No* novo;

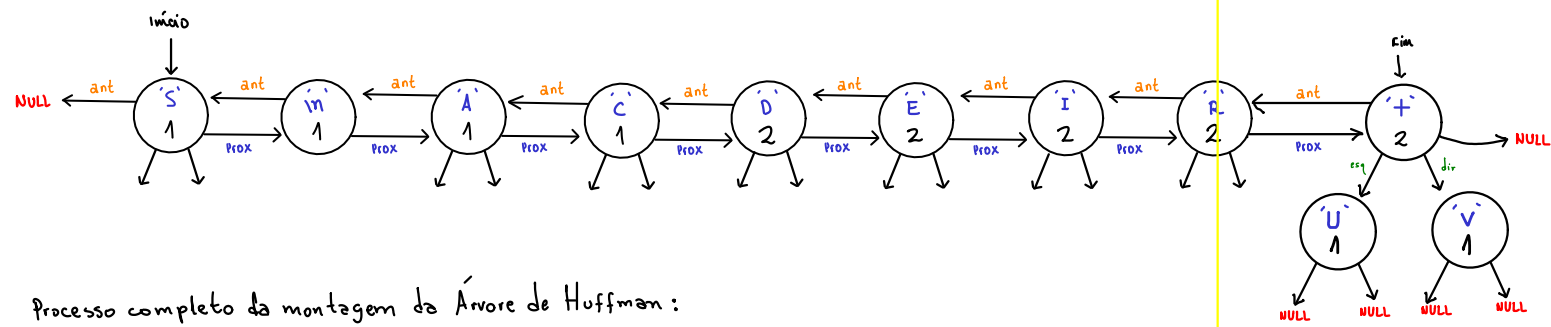
    if (x == NULL) {
        novo = (No*) malloc (sizeof(No));
        novo -> freq = freq;
        novo -> c = c;
        novo -> prox = NULL;
        novo -> ant = NULL;
        novo -> esq = NULL;
        novo -> dir = NULL;
    }
    else {
        novo = x;
    }

    // 1° CASO: LDE está vazia.
    if (inicio == NULL) {
        inicio = novo;
        fim = novo;
    }

    // 2° CASO: Nó que desejo adicionar é maior que o Último Nó da LDE.
    else if (novo -> freq >= fim -> freq){
        fim -> prox = novo;
        novo -> ant = fim;
        fim = novo;
    }

    // 3° CASO: Nó que desejo adicionar é menor que o Primeiro Nó.
    else if (novo -> freq <= inicio -> freq && tam >= 1) {
        novo -> prox = inicio;
        inicio -> ant = novo;
        inicio = novo;
    }

    // 4° CASO: Nó que desejo adicionar deve ficar entre DOIS Nós.
    else {
        No* aux = inicio;
        while (aux != NULL) {
            if (novo -> freq >= aux -> freq && novo -> freq <= aux -> prox -> freq) {
                aux -> prox = novo;
                novo -> ant = aux;
                novo -> prox = aux -> prox;
                aux -> prox = novo;
                break;
            }
            aux = aux -> prox;
        }
    }
    tam++;
}
```



Processo completo da montagem da Árvore de Huffman:

```
paulo@maquinaPh:~/Área de Trabalho/huffman-versão-Final$ ./huffman c arquivo2.txt comprimido.code
..... PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE .....
V --> 1 vez.
U --> 1 vez.
S --> 1 vez.
--> 1 vez.
A --> 1 vez.
C --> 1 vez.
D --> 2 vezes.
E --> 2 vezes.
I --> 2 vezes.
R --> 2 vezes.
S --> 1 vez.
--> 1 vez.
A --> 1 vez.
C --> 1 vez.
D --> 2 vezes.
E --> 2 vezes.
I --> 2 vezes.
R --> 2 vezes.
+ --> 2 vezes.
A --> 1 vez.
C --> 1 vez.
D --> 2 vezes.
E --> 2 vezes.
I --> 2 vezes.
R --> 2 vezes.
+ --> 2 vezes.
D --> 2 vezes.
E --> 2 vezes.
I --> 2 vezes.
R --> 2 vezes.
+ --> 2 vezes.
+ --> 2 vezes.
```

```
I --> 2 vezes.
R --> 2 vezes.
+ --> 2 vezes.
+ --> 2 vezes.
+ --> 4 vezes.
+ --> 4 vezes.
+ --> 2 vezes.
+ --> 2 vezes.
+ --> 4 vezes.
+ --> 4 vezes.
+ --> 4 vezes.
+ --> 4 vezes.
+ --> 6 vezes.
+ --> 6 vezes.
+ --> 8 vezes.
+ --> 14 vezes.
Conteúdo presente no arquivo: RECURSIVIDADE
..... CADEIA DE BITS GERADO PELA ÁRVORE DE HUFFMAN .....
0100110001001000010110011011011000000
R E C U R S I V
..... TABELA DE CÓDIGO DE CARACTERE .....
----> 0000
A ----> 111
C ----> 110
D ----> 101
E ----> 100
I ----> 011
R ----> 010
S ----> 001
U ----> 0010
V ----> 0011
```

cadeia de bits gerada pela



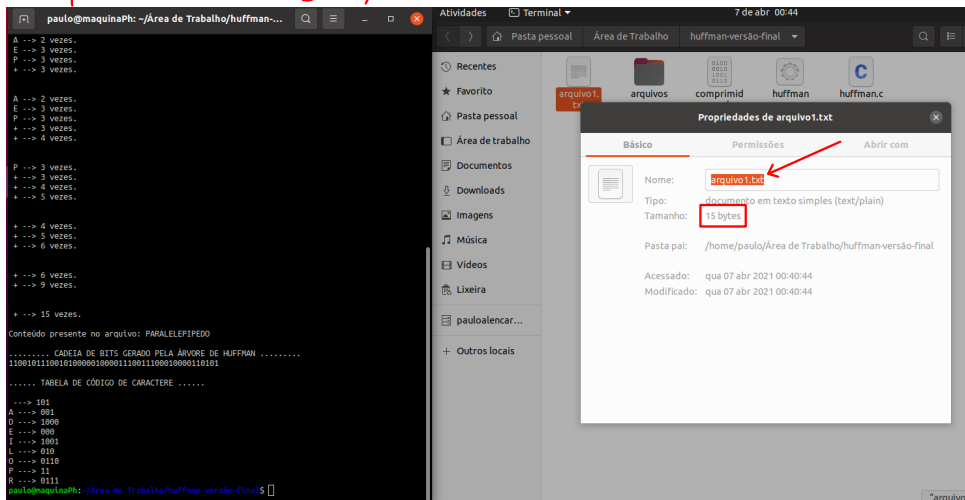
* Análise dos testes :

1º arquivo -

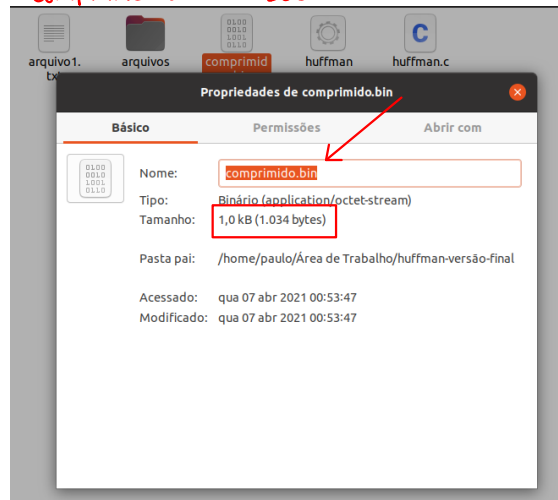
OBS: a partir do arquivo2.txt eu coloquei textos aleatórios gerado pelo Gerador de textos Lorem Ipsum.

não ocorreu compressão porque o cabeçalho ocupa 1028 bytes
 $\therefore 1034 - 1028 = 6 \text{ bytes}$
 bytes ocupados pelo texto.

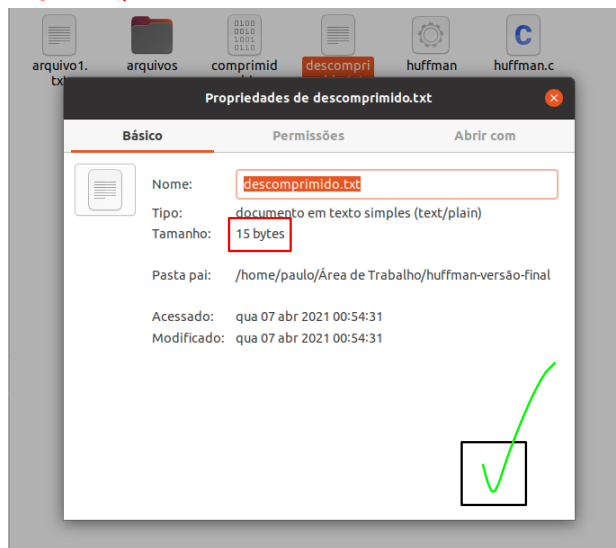
arquivo1.txt → 15 bytes



Comprimido.bin 1034 bytes



descomprimido.txt → 15 bytes

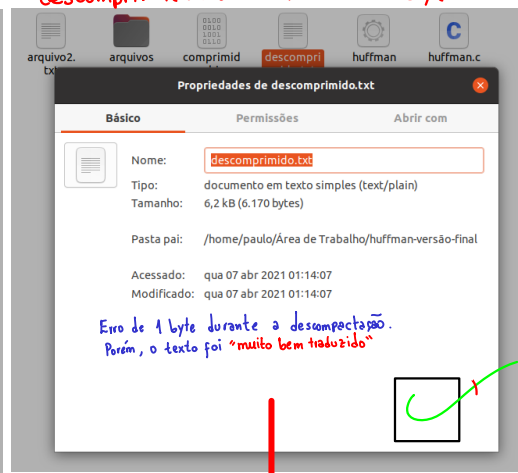
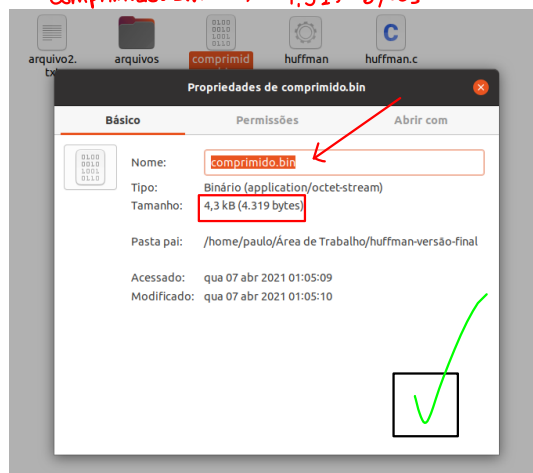
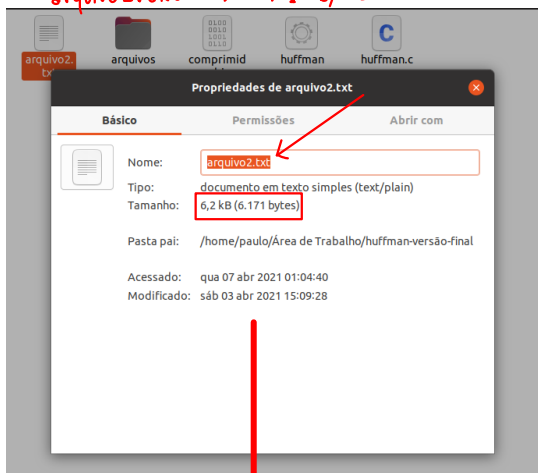


2º arquivo -

arquivo2.txt → 6.171 bytes

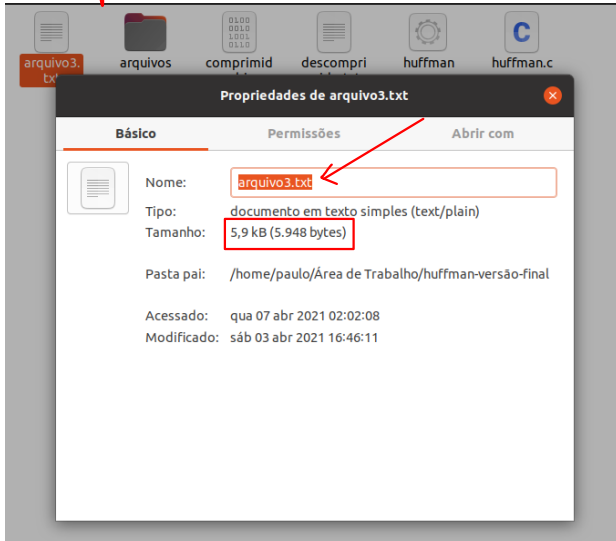
comprimido.bin → 4.319 bytes

descomprimido.txt → 6.170 bytes

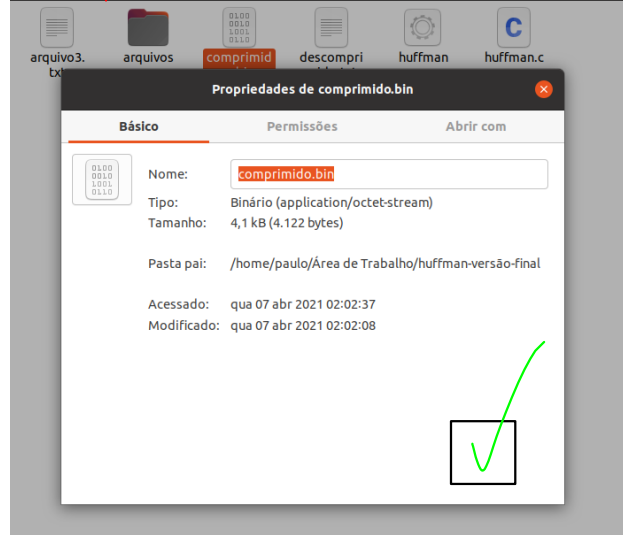


3º arquivo -

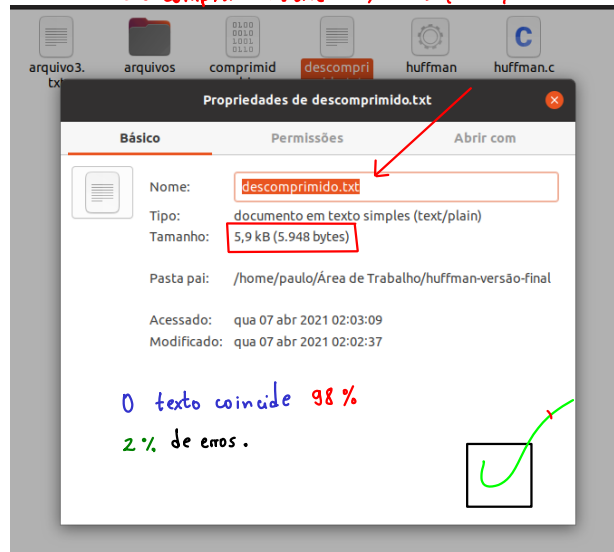
arquivo3.txt → 5.948 bytes



comprimido.bin → 4.122 byte

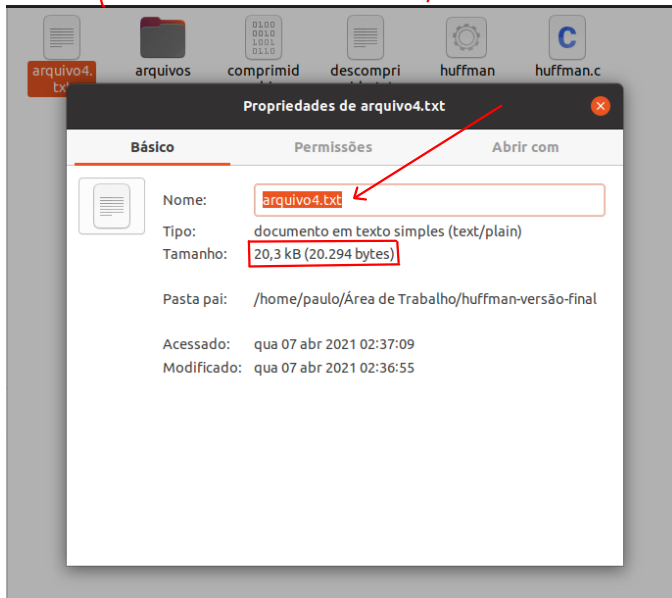


descomprimido.txt → 5.948 bytes

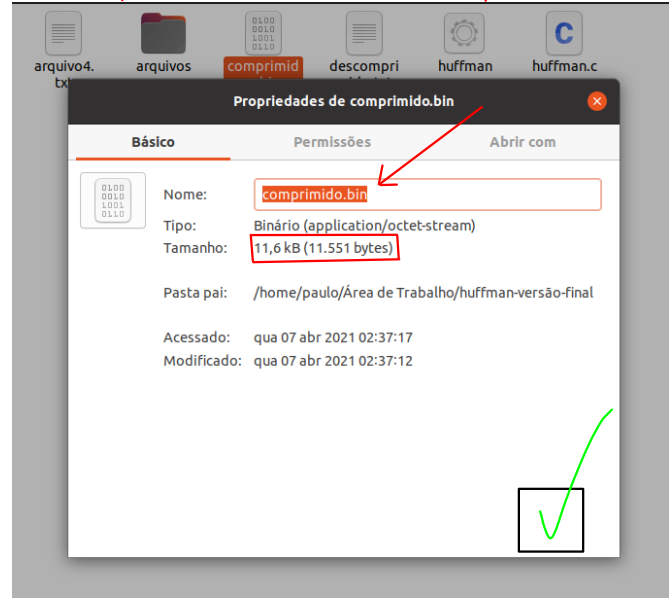


4 = arquivo -

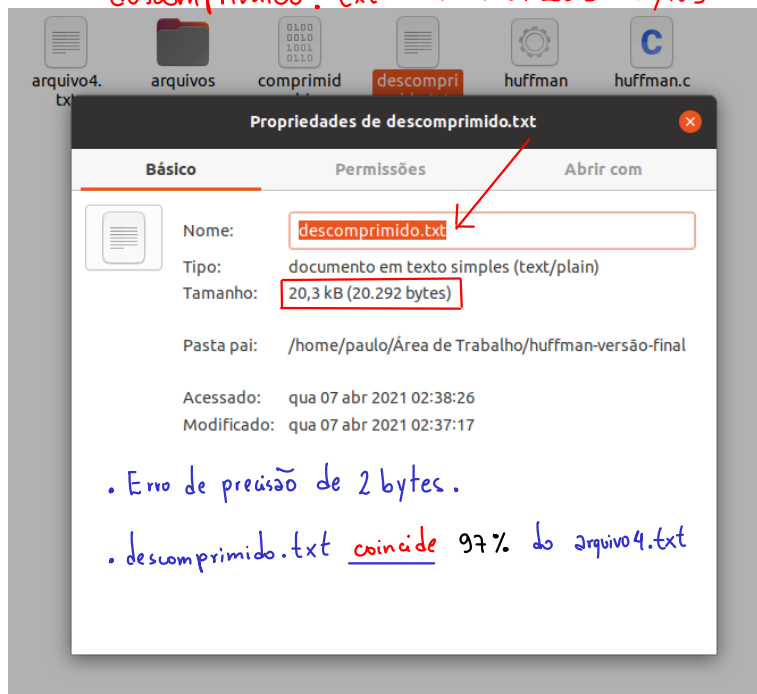
arquivo4.txt → 20.294 bytes



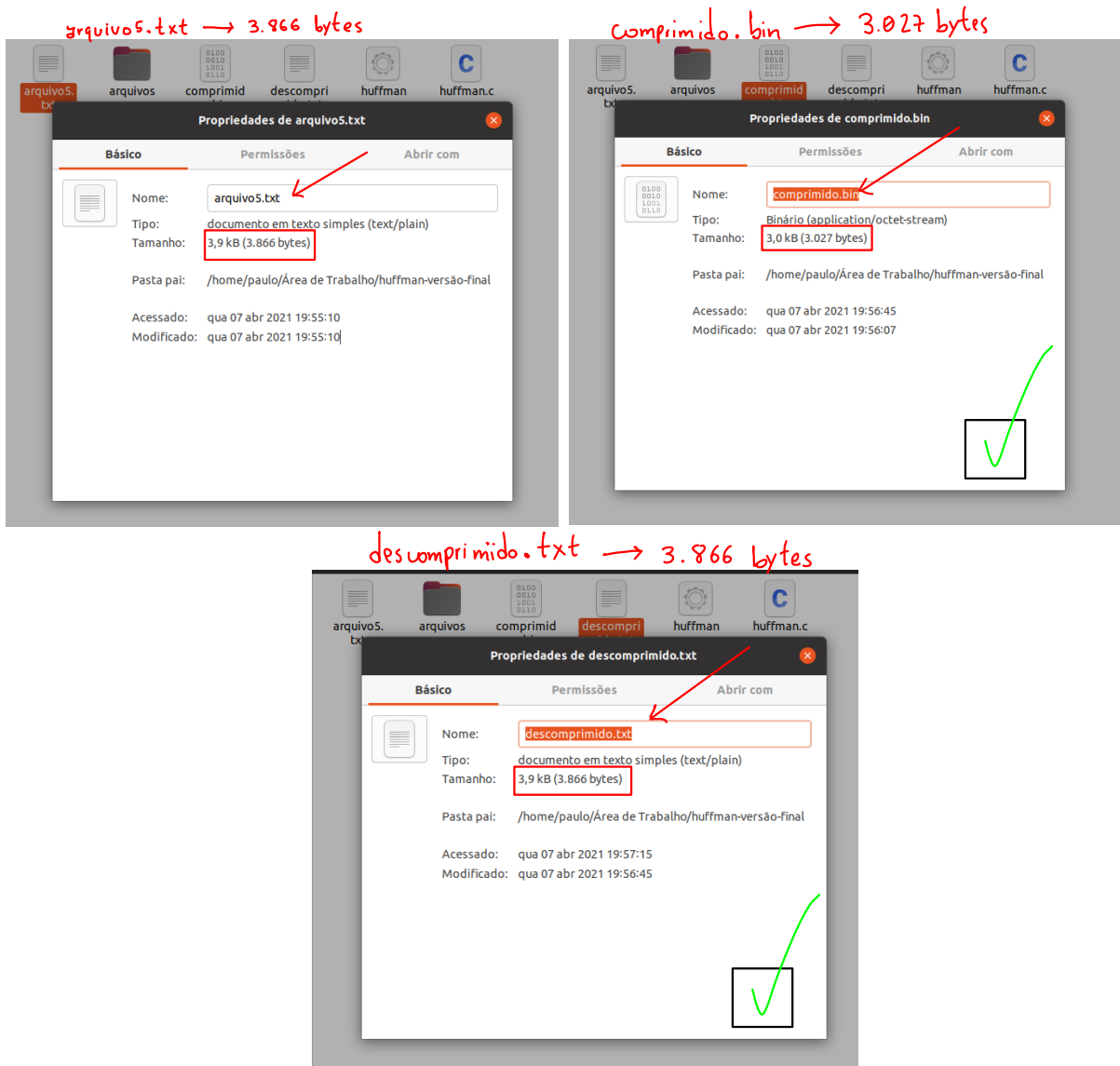
comprimido.bin → 11.551 bytes



descomprimido.txt → 20.292 bytes



5 = arquivo -



2.1. Funções criadas no projeto:

Error (...) - procedimento responsável por exibir mensagens de erros.

insere_no_na_lista (...) - procedimento responsável por inserir um Nó em um Lista Duplamente Encadeada, de maneira ordenada e crescente.

pegar_caracteres_do_txt (...) - função responsável por obter todos os caracteres presentes no .txt que será comprimido.

ocorrencia_caractere (...) - procedimento responsável por determinar o número de ocorrência de cada caractere.

imprimir_lista (...) - procedimento responsável por imprimir a LDE.

remover_menor (...) - função responsável por fazer uma cópia do Nó que possui menor frequência da LDE e após isso a função vai remover esse Nó da LDE (vai desconectar esse Nó da LDE).

criando_no_arvore (...) - função responsável por criar e copular um Nó pai para a Árvore de Huffman.

criando_arvore_huffman (...) - função responsável por criar a Árvore de Huffman.

in_ordem (...) - procedimento responsável por imprimir a Árvore de Huffman em Pré-Ordem.

gera_codigo (...) - função responsável por percorrer a Árvore de Huffman e gerar o código correspondente para cada caractere.

minha_strlen (...) - função responsável por determinar a quantidade de caracteres presente em uma "string".

converte_binario_para_decimal (...) - recebe uma cadeia de bits (geralmente um vetor de caracteres, com 8 caracteres) e converte a cadeia de 8 bits para um número decimal.

Após isso, escreve um caractere no arquivo comprimido equivalente na Tabela **ASCII** ao número decimal.

converte_decimal_para_binario (...) - função responsável por receber um número decimal e converter esse número para uma representação binária com 8 bits. No entanto, terá momentos em que determinado número não terá 8 bits, por exemplo, o número **7** em binário é **111**, então será preciso completar esses bits que estão faltando até completar 8 bits. Realizando a preenchimento teremos: 00000111.

free_fila (...) - procedimento responsável por percorrer uma fila e desalocar memória de cada Nó que compõe a fila.

imprimir_fila (...) - procedimento responsável por imprimir os valores que compõe a fila.

add_fila (...) - procedimento responsável por adicionar um Nó em uma fila. Quando a fila atinge um tamanho de 8 elementos (bits) seus valores são copiados para um vetor [0 - 7] e a fila é desalocada da memória.

decodificar_codigo (...) - função responsável por percorrer a Árvore de Huffman, com o intuito de decodificar a cadeia de bits gerada pela árvore de Huffman, para os seus respectivos caracteres.

minha_strcat (...) - procedimento responsável por concatenar duas "strings".

desalocar_arvore (...) - procedimento responsável por desalocar os Nós que formam a Árvore de Huffman.

gerar_tabela_de_codigo (...) - procedimento responsável por gerar a Tabela Código de Caractere, onde teremos o código de cada caractere gerada pela Árvore de Huffman.

Procedimentos Gerais:

comprimir_arquivo (...) - recebe o 'nome' de um arquivo para comprimir como 1º argumento e como 2º argumento o 'nome' do arquivo comprimido. Após isso, realiza a

compressão desse arquivo, gerando assim um arquivo comprimido, isto é, um arquivo com menos bytes.

descomprimir_arquivo (...) - recebe o 'nome' do arquivo comprimido como 1º argumento e 'nome' do arquivo descomprimido como 2º argumento. Depois, descomprime o arquivo comprimido, criando em seguida um novo arquivo descomprimido com conteúdo igual ao arquivo que foi comprimido.

main (...) - executa as duas principais funções: ***comprimir_arquivo(...)*** e ***descomprimir_arquivo (...)***

4. CONCLUSÃO:

Em relação às dificuldades encontradas para a realização do projeto “Compactando arquivos”, acabei percebendo que, entender como funciona o algoritmo de Huffman se torna algo simples depois que você estuda um pouquinho. Por outro lado, o que se torna complicado é a sua implementação, principalmente na parte de gerenciamento de memória (alocação dinâmica), manipulações envolvendo vetores de caracteres, ponteiros e funções com chamadas recursivas. Além disso, as funções ***converte_binario_para_decimal (...)***, ***converte_decimal_para_binario (...)*** e o trecho de código que começa na linha **761** e vai até a linha **810** foram algoritmos que tive que ter bastante persistência durante a implementação, pois envolve uma análise de mais “baixo nível” e com vários casos a serem tratados.

Apesar de tudo isso, foi muito legal conhecer o algoritmo de Huffman e realizar sua implementação. Alguns trechos no projeto e algumas funções certamente podem ser melhoradas, tanto por causa dos pequenos errinhos ou pela complexidade envolvida. Porém, apesar das dificuldades deu pra aprender muitas coisas nessas duas últimas semanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABREU, R. **Algoritmo de Huffman**. 2015 (50m30s). Disponível em: <<https://youtu.be/UEqQbF35730>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

FEOFILOFF, P. **Algoritmo de Huffman para compressão de dados**. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/~pf/estruturas-de-dados/aulas/huffman.html>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

FEOFILOFF, P. **Compressão de dados**. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/~pf/estruturas-de-dados/aulas/compress.html>>. Acesso em: 01 abr. 2021.

FEOFILOFF, P. **Bytes, números e caracteres**. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/~pf/algoritmos/aulas/bytes.html>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

FEOFILOFF, P. **Unicode e UTF - 8**. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/~pf/algoritmos/apend/unicode.html#utf-8>>. Acesso em: 2 abr. 2021.

GRASSANO, L. **Como a compressão de dados funciona?**. 2021. (11m01s). Disponível em: <<https://youtu.be/-TonlL3vcGk>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

RIBEIRO, V. **Compressão de Dados e Codificação de Huffman**. Disponível em: <<https://loopisjr.github.io/jekyll/update/2015/04/02/AlgorithmDay-Compressao-de-Dados-e-Codificacao-de-Huffman.html>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

SCHIMUNECK, M. **Codificação de Huffman**. 2011. (5m56s). Disponível em: <<https://youtu.be/p-ld8zSHVNc>>. Acesso em: 26 mar. 2021.