

Módulo 1 – Compiladores

1.1 Questões Teóricas

1.1.1.

1.2 Questões Práticas

1.2.1.

1.2.2.

1.2.3.

1.2.4.	Código		Tabela de Símbolos	Código Máquina	
	00. INPUT	N	WHILE: 04	12 N	1
	02. LOAD	N	FIM: 28	10 N	2
	04. WHILE:	JUMPZ FIM	N: 29	08 FIM	3
	06.	DIV DOIS	AUX: 30	04 DOIS	4
	08.	MUL DOIS	DOIS: 31	03 DOIS	5
	10.	STORE AUX		11 AUX	6
	12.	LOAD N		10 N	7
	14.	SUB AUX		02 AUX	8
	16.	STORE AUX		11 AUX	9
	18.	OUTPUT AUX		13 AUX	10
	20.	LOAD N		10 N	11
	22.	DIV DOIS		04 DOIS	12
	24.	STORE N		11 N	13
	26.	JUMP WHILE		05 WHILE	14
	28. FIM:	STOP		14	15
	29. N:	SPACE		00	16
	30. AUX:	SPACE		00	17
	31. DOIS:	CONST 2		02	18
					19

1.2.5.

1.2.6.

1.2.7. Os códigos de cada módulo são apresentados a seguir. Para facilitar a ligação, é mostrado o código máquina não-ligado de cada um.

Código (fator=0)		Tabela de Símbolos	Código Máquina	
00. MOD1:	BEGIN	MOD1: 00		1
00. MOD2:	EXTERN	MOD2: 00		2
00. VALS:	EXTERN	VALS: 00		3
00. PUBLIC	_L1	L1: 06		4
00. PUBLIC	_L2	L2: 14		5
00.	INPUT VALS	R: 15	12 VALS	6
02.	INPUT VALS + 1		12 VALS + 1	7
04.	JMP MOD2	Tabela de Uso	05 MOD2	8
06. L1:	LOAD VALS	MOD2: 5+	10 VALS	9
08.	DIV VALS + 1	VALS: 1+ 3+ 7+ 9+	04 VALS + 1	10
10.	STORE RES		11 RES	11
12.	OUTPUT RES	Tabela de Definições	13 RES	12
14. L2:	STOP	_L1: 06	14	13
15. R:	SPACE	_L2: 14	00	14
	END	R: 15		15
				16

Código (fator=16)		Tabela de Símbolos	Código Máquina	
00. MOD2:	BEGIN	MOD2: 00		1
00. MOD1:	EXTERN	MOD1: 00		2
				3

00. _L1:	EXTERN	_L1:	00				4
00. _L2:	EXTERN	_L2:	00				5
00. PUBLIC	VALS	VALS:	06				6
00. PUBLIC	MOD2						7
00. LOAD	VALS + 1	Tabela de Uso	10	VALS + 1			8
02. JMPZ	_L2	_L1:	5+	08	_L2		9
04. JMP	_L1	_L2:	3+	05	_L1		10
06. VALS:	SPACE 2			00	02		11
END		Tabela de Definições:					12
		MOD2:	00				13
		VALS:	06				14

A seguir, apresenta-se o código máquina dos módulos ligados, de forma que os códigos objeto de cada um estão adjacentes.

Código não ligado	Tabela Global	Código Máquina	
00. 12 VALS	_L1: 06	12 22	1
02. 12 VALS + 1	_L2: 14	12 23	2
04. 05 MOD2	RES: 15	05 16	3
06. 10 VALS	MOD2: 00+ 16 = 16	10 22	4
08. 04 VALS + 1	VALS: 06+ 16 = 22	04 23	5
10. 11 RES		11 15	6
12. 13 RES		13 15	7
14. 14		14	8
15. 00		00 fim do MOD1.o	9
16. 10 VALS + 1		10 23	10
18. 08 _L2		08 14	11
20. 05 _L1		05 06	12
22. 00 02		00 02 fim do MOD2.o	13
			14

1.2.8.

1.2.9.

Módulo 2 – Assembly x86-64

2.1 Questões Teóricas

2.1.1.

2.2 Questões Práticas

2.2.1.

```

SIZE EQU 6
section .data
little dd 42434445h, 45454545h, 4A4B4C4Dh,
        dd 414D4E4Fh, 46454948h, 4C474D46h

section .bss
big resd SIZE
temp resd 1

section .start
global _start
_start:
    mov ecx, SIZE
    mov eax, little
    mov esi, big
laco1: mov ebx, esi
    add ebx, 3          ; ebx aponta para o último byte da dword big endian
laco2: mov dl, [eax]
    mov [ebx], dl
    dec ebx
    inc eax
    cmp ebx, esi        ; 4 bytes foram preenchidos? se não, repete
    jae laco2
    add esi, 4
    dec ecx              ; mais um número convertido
    cmp ecx, 0
    ja laco1             ; tem mais número? se sim, repete
done:  mov eax, 1
    mov ebx, 0
    int 80h

```

2.2.2.

(a)

```

section .data
MAX equ 100
section .bss
a resd MAX
section .text
global _start
_start:
sub esi, esi    ; i=0
for:
    cmp esi, MAX
    jae end_for
    mov eax, esi
    shr eax, 1      ; eax = i >> 1
    mov DWORD [a + 4*esi], eax ; a[i] = i >> i
    inc esi
    jmp for
end_for

```

```

end_for:
mov eax, 1
mov ebx, 0
int 80h

```

(b)

```

section .data
ROW equ 5
COL equ 5
array1 dd 1, 89, 99, 91, 92,
        dd 79, 2, 70, 60, 55,
        dd 70, 60, 3, 90, 89,
        dd 60, 55, 68, 4, 66,
        dd 51, 59, 57, 2, 5
array2 TIMES ROW dd 1, 2, 3, 4, 5
section .bss
array3 TIMES ROW resb COL
section .text
global _start
_start:
    mov esi, 0          ; i=0
    for_i:
        cmp esi, ROW
        jae end_for_i
        mov edi, 0
        for_j:
            cmp edi, COL
            jae end_for_j
            imul eax, esi, ROW ; eax = offset da linha em elementos
            mov ebx, edi
            shl ebx, 2         ; ebx = offset da coluna em bytes
            mov ecx, DWORD [array1 + 4*eax + ebx]
            cmp ecx, DWORD [array2 + 4*eax + ebx] ; array1 == array2 ?
            je set_1
            mov BYTE [array3 + eax + edi], "0"
            jmp continue
        set_1:
            mov BYTE [array3 + eax + edi], "1"
        continue:
            ; printf("%c", array3[i][j])
            mov ecx, eax
            mov eax, 4
            mov ebx, 1
            add ecx, array3
            add ecx, edi
            mov edx, 1
            int 80h
            inc edi          ; j++
            jmp for_j
        end_for_j:
            inc esi
            jmp for_i

```

```

end_for_i:
mov eax, 1
mov ebx, 0
int 80h

```

(c)

```

section .data
SIZE equ 11
vetor dd 0x10002231, 0x80154491, 0x91929394,
        dd 0x11223344, 0x12131415, 0x79270601,
        dd 0x55127380, 0x16112212, 0x39089607,
        dd 0x51557721, 0x16846676

section .text
global _start
_start:
sub eax, eax ; res=0
mov ecx, SIZE ; i=SIZE
while:
    ; res += vetor[i++]
    add eax, DWORD [vetor + 4*ecx - 4]
    loop while
mov eax, 1
mov ebx, 0
int 80h

```

(d)

```

#include "io.mac"
section .data
MAX equ 100
section .bss
a TIMES MAX resw MAX
section .text
global _start
_start:
mov esi, 0 ; i=0
for_i:
    cmp esi, MAX
    jae end_for_i
    mov edi, 0 ; j=0
    for_j:
        cmp edi, MAX
        jae end_for_j
        mov ecx, esi ; ecx = i
        cmp esi, edi
        je set_as_3i ; i==j?
        shl ecx, 3 ; ecx = 8*i
        sub ecx, esi ; ecx = 7*i
        jmp continue
set_as_3i:
    shl ecx, 2 ; ecx = 4*i
    sub ecx, esi ; ecx = 3*i
continue:

```



```

    imul eax, esi, MAX
    imul ebx, edi, 2
    mov WORD [a + 2*eax + ebx], cx ; atualiza matriz
    inc edi
    jmp for_j
end_for_j:
    inc esi
    jmp for_i
end_for_i:          ; return 0
mov eax, 1
mov ebx, 0
int 80h

```

(e)

```

#include "io.mac"
section .bss
count resd 1
start resb 1
section .text
global _start
_start:
sub esi, esi          ; sum=0
mov DWORD [count], 100 ; count=100
; lê um caracter (dígito) do usuário
mov eax, 3
mov ebx, 0
mov ecx, start
mov edx, 1
int 80h
; converte para número
sub BYTE [start], "0"
while:
    mov eax, esi          ; eax = sum
    shr eax, 1            ; eax = sum // 2
    shl eax, 1            ; eax = (sum // 2) * 2
    sub eax, esi          ; eax = -(sum % 2)
    cmp eax, 0            ; sum%2 == 0 ?
    je sub_start
    add esi, DWORD [start] ; sum += start
    jmp continue
sub_start:
    sub esi, DWORD [start] ; sum -= start
continue:
    inc BYTE [start]      ; start++
    dec DWORD [count]     ; count--
    cmp DWORD [count], 0
    ja while
; return sum
mov eax, 1
mov ebx, esi
int 80h

```

2.2.3.

- (a) `int foo1(int n) {
 return 7*n;
}` 1
2
3
- (b) `int foo2 (int n) {
 return n / 2147483648; // n / 2^31
}` 1
2
3
- (c) `int foo3 (int *p) {
 return *p + *p;
}` 1
2
3
- (d) `short int foo4 (short int x, short int y) {
 return x - y; // C é right-pusher
}` 1
2
3

2.2.4. `f4:` 1
`enter 0, 0` 2
`mov ebx, DWORD [ebp + 8]` ; ebx recebe o ponteiro/vetor de shorts x 3
`mov ecx, DWORD [ebp + 12]` ; ecx recebe o número de elementos n 4
`mov ax, WORD 1` 5
`for_loop:` 6
`cmp ecx, 0` 7
`jle end_f4` 8
`cwd` ; estende o sinal de ax em eax 9
`cdq` ; estende o sinal de eax em edx 10
`mul WORD [ebx]` ; dx.ax = ax * elemento 11
`dec ecx` ; um elemento a menos a ser multiplicado 12
`add ebx, 2` ; ebx aponta para o próximo elemento 13
`jmp for_loop` 14
`end_f4:` 15
`shl edx, 16` ; edx = dx.000... 16
`shl eax, 16` ; eax = ax.000... 17
`shr eax, 16` ; eax = ...000.ax 18
`add eax, edx` ; eax = dx.ax 19
`leave` 20
`ret` 21

2.2.5. `f4:` 1
`enter 4, 0` ; variável local: DWORD para o resultado 2
`mov esi, DWORD [ebp + 8]` ; esi recebe o ponteiro/vetor de shorts x 3
`mov edi, DWORD [ebp + 12]` ; edi recebe o ponteiro/vetor de shorts y 4
`mov ecx, DWORD [ebp + 16]` ; ecx recebe o número de elementos n 5
`for_loop:` 6
`cmp ecx, 0` 7
`jle end_f4` 8
`mov ax, WORD [esi]` 9

```

    cwd                ; estende o sinal de ax em eax      10
    cdq                ; estende o sinal de eax em edx      11
    mul WORD [edi]      ; dx.ax = short_x * short_y        12
    shl edx, 16         ; edx = dx.000...                 13
    shl eax, 16         ; eax = ax.000...                 14
    shr eax, 16         ; eax = ...000.ax                 15
    add eax, edx         ; eax = dx.ax                     16
    add DWORD [ebp - 4], eax ; atualiza montante           17
    dec ecx             ; um par a menos a ser multiplicado 18
    add esi, 2          ; esi aponta para o próximo elemento 19
    add edi, 2          ; edi aponta para o próximo elemento 20
    jmp for_loop        21
end_f4:                22
mov eax, DWORD [ebp - 4] ; eax recebe o resultado         23
leave                 24
ret                   25

```

- 2.2.6. Modificações necessárias no código C original: além de eliminar a definição original da função, deve também declarar a assinatura da soma em Assembly por `extern void soma(int *M, int N, int *valor)`.

```

soma:
enter 0, 0
mov esi, DWORD [ebp + 8] ; esi = ponteiro de inteiros/matriz
mov ecx, DWORD [ebp + 12] ; ecx = contador
mov edi, 0                ; edi = offset da matriz
mov eax, 0                ; eax = resultado da soma
do_while:
    add eax, DWORD [esi + 4*edi] ; incrementa montante
    add edi, DWORD [ebp + 12]    ; desce um "linha"
    inc edi                     ; avança uma "coluna"
    loop do_while               ; --ecx > 0 ? repete
mov ecx, DWORD [ebp + 16] ; ecx = ponteiro de saída
mov DWORD [ecx], eax      ; resultado da saída = montante
leave
ret

```

```

2.2.7. %include "io.mac"
f1:
enter 0, 0
mov esi, DWORD [ebp + 8] ; esi recebe a matriz 1/ponteiro de int 1
mov ebx, 0                ; ebx = offset da linha em elementos (0,m,...)
mov ecx, 0                ; ecx = contador c
for_c:
    cmp ecx, DWORD [ebp + 20]
    jae end_f1             ; c >= n ? fim da função
    mov edx, 0             ; edx = contador d
    for_d:
        cmp edx, DWORD [ebp + 16]
        jae end_for_d      ; d >= m ? fim do laço
        mov eax, ebx        ; eax = c*sizeof(int)
        add eax, edx        ; eax = c*sizeof(int) + d

```

```

        ; printf("%d\t", (matrix + c*sizeof(int) + d))
        PutLInt DWORD [esi + 4*eax]
        PutCh 9 ; ascii 9 = \t
        inc edx ; d++
        jmp for_d
end_for_d:
nwnln
add ebx, edx ; ebx = c*sizeof(int)
inc ecx ; c++
jmp for_c
end_f1:
leave
ret

```

2.2.8. `%include "io.mac"`

```

section .data
    BUF_SIZE equ 256
    type_entry_name db "Digite o nome do arquivo de entrada: "
    type_output_name db "Digite o nome do arquivo de saída: "
section .bss
    fd1 resd 1
    fd2 resd 1
    file_in resb 30
    file_out resb 30
    buf resb BUF_SIZE
section .text
global _start
_start:
    ; printf/scanf
    PutStr type_entry_name
    GetStr file_in
    PutStr type_output_name
    GetStr file_out
    ; fd1 = fopen(file_in, "r")
    mov eax, 5
    mov ebx, file_in
    mov ecx, 00 ; modo leitura
    mov edx, 777 ; permissão completa a todos
    int 80h
    mov DWORD [fd1], eax ; fd1 = file descriptor da entrada
    ; fd2 = fopen(file_out, "w")
    mov eax, 5 ; syscall open file
    mov ebx, file_out
    mov ecx, 01 ; modo escrita
    mov edx, 777 ; permissão completa a todos
    int 80h
    mov DWORD [fd2], eax ; fd2 = file descriptor da saída
    ; fread(buf, sizeof(char), BUF_SIZE, fd1)
    mov eax, 3
    mov ebx, DWORD [fd1]
    mov ecx, buf

```

```

mov edx, BUF_SIZE
int 80h
; fwrite(buf, sizeof(char), BUF_SIZE, fd2)
mov eax, 4
mov ebx, DWORD [fd2]
mov ecx, buf
mov edx, BUF_SIZE
int 80h
; fclose(fd1)
mov eax, 6
mov ebx, DWORD [fd1]
int 80h
; fclose(fd2)
mov eax, 6
mov ebx, DWORD [fd2]
int 80h
; return 0
mov eax, 1
mov ebx, 0
int 80h

```

2.2.9.

```

section .data
file_in    db "myfile1.txt"
file_out   db "myfile2.txt"
n          equ 100
section .bss
x          resb n
soma       resd 1
section .text
global _start
_start:
; abre arquivo de entrada
mov eax, 5
mov ebx, file_in
mov ecx, 00
mov edx, 777          ; permissão total a todos
int 80h
; lê arquivo de entrada, preenchendo x
mov ebx, eax          ; ebx = file descriptor da entrada
mov eax, 3
mov ecx, x
mov edx, n
int 80h
; fecha o arquivo
mov eax, 6
int 80h
; laço for para somar os elementos
mov esi, 0
mov eax, 0
for_x:
    cmp esi, n

```

```

    jae end_for_x
    mov al, BYTE [x + esi]
    movsx eax, al
    add DWORD [soma], eax
    inc esi
    jmp for_x
end_for_x:
; abre arquivo de saída
mov eax, 5
mov ebx, file_out
mov ecx, 01
mov edx, 700          ; permissão total ao dono, nada ao resto
int 80h
; escreve a soma
mov ebx, eax          ; ebx = file descriptor da saída
mov eax, 4
mov ecx, soma
mov edx, 4            ; soma é inteiro => 4 bytes
int 80h
; fecha o arquivo
mov eax, 6
int 80h
; fim do programa
mov eax, 1
mov ebx, 0
int 80h

```

2.2.10. Note que os arrays/buffers *x* e *y* têm 200 bytes de conteúdo, e não 100.

```

section .data
    file_in db "myfile1.txt"
    file_out db "myfile2.txt"
    BUF_SIZE equ 100
section .bss
    x resw BUF_SIZE
    y resw BUF_SIZE
section .text
global _start
_start:
; abre arquivo de entrada
mov eax, 5
mov ebx, file_in
mov ecx, 00
mov edx, 777          ; permissão total a todos
int 80h
; lê arquivo de entrada, preenchendo x
mov ebx, eax          ; ebx = file descriptor da entrada
mov eax, 3
mov ecx, x
mov edx, BUF_SIZE
add edx, edx
int 80h

```

```

; fecha o arquivo
mov eax, 6
int 80h
; laço for para preencher y
mov esi, 0
for_y:
    cmp esi, BUF_SIZE
    jae end_for_y
    cmp WORD [x + 2*esi], 0
    ja write_1
    mov WORD [y + 2*esi], 0
    jmp continue
write_1:
    mov WORD [y + 2*esi], 1
continue:
    inc esi
    jmp for_y
end_for_y:
; abre arquivo de saída
mov eax, 5
mov ebx, file_out
mov ecx, 01
mov edx, 744 ; permissão total ao dono, leitura ao resto
int 80h
; escreve o array y
mov ebx, eax ; ebx = file descriptor da saída
mov eax, 4
mov ecx, y
mov edx, BUF_SIZE
add edx, edx
int 80h
; fecha o arquivo
mov eax, 6
int 80h
; fim do programa
mov eax, 1
mov ebx, 0
int 80h

```

- 2.2.11. O programa a seguir multiplica matrizes de tamanhos arbitrários e compatíveis. O procedimento auxiliar `GetMat` realiza os laços de preenchimento das matrizes.

```

#include "io.mac"
section .data
    ROWS1 equ 5
    COLS1 equ 5
    ROWS2 equ COLS1
    COLS2 equ 5
section .bss
    mat1 TIMES ROWS1 resd COLS1
    mat2 TIMES ROWS2 resd COLS2
    mat3 TIMES ROWS1 resd COLS2

```

```

section .text
global _start
_start:
; preenche a matriz do lado esquerdo do produto
push ROWS1
push COLS1
push mat1
call GetMat
add esp, 12 ; esp restaurado
; preenche a matriz do lado direito do produto
push COLS2
push ROWS2
push mat2
call GetMat
add esp, 12 ; esp restaurado
; realiza a operação mat1 * mat2 = mat3
; mat1 -> m x l = ROWS1 x COLS1
; mat2 -> l x n = ROWS2 x COLS2
; mat3 -> m x n = ROWS1 x COLS2
mov esi, 0
for_i:
    cmp esi, ROWS1
    jae end_prod ; 0 <= i < m
    mov edi, 0
    for_j:
        cmp edi, COLS2
        jae end_for_j ; 0 <= j < n
        imul eax, esi, COLS2
        add eax, edi ; offset3 = n*i+j = COLS2*esi+edi
        mov DWORD [mat3 + 4*eax], 0
        mov ecx, 0
        for_k:
            cmp ecx, ROWS2
            jae end_for_k ; 0 <= k < l
            imul eax, esi, COLS1
            add eax, ecx ; offset1 = l*i+k = COLS1*esi+ecx
            mov ebx, DWORD [mat1 + 4*eax]
            imul eax, ecx, COLS2
            add eax, edi ; offset2 = n*k+j = COLS2*ecx+edi
            imul ebx, DWORD [mat2 + 4*eax] ; m1[i][k] * m2[k][j]
            imul eax, esi, COLS2
            add eax, edi ; offset3 = n*i+j = COLS2*esi+edi
            add DWORD [mat3 + 4*eax], ebx ; m3[i][j] += m1[i][k] * m2[k][j]
            inc ecx
            jmp for_k
        end_for_k:
            inc edi ; j++
            jmp for_j ; próxima coluna da m2
    end_for_j:
        inc esi ; i++
        jmp for_i ; próxima linha da m1

```



```

end_prod:
; fim do programa
mov eax, 1
mov ebx, 0
int 80h

GetMat:
enter 0, 0
mov esi, DWORD [ebp + 8]      ; esi recebe a matriz 1/ponteiro de int
mov ebx, 0                    ; ebx = offset da linha em elementos
mov ecx, 0                    ; ecx = contador i
row_for:
    cmp ecx, DWORD [ebp + 16]
    jae end_GetMat            ; i >= ROWS ? fim da função
    mov edx, 0                ; edx = contador j
    column_for:
        cmp edx, DWORD [ebp + 12]
        jae end_column_for    ; j >= COLS ? fim do laço
        mov eax, ebx           ; eax = i*sizeof(int)
        add eax, edx           ; eax = i*sizeof(int) + j
        GetLInt edi
        mov DWORD [esi + 4*eax], edi
        inc edx                ; j++
        jmp column_for
    end_column_for:
        add ebx, edx           ; ebx = i*sizeof(int)
        inc ecx                ; i++
        jmp row_for
end_GetMat:
leave
ret

```

2.2.12. Bias = 011 = 3, Regra = *ceil*.

Descrição	Binário	Mantissa	Expoente	Valor decimal
Menos zero	1 000 00	0.0	-2	-0.0
Número positivo mais próximo a zero	0 000 01	$1/4$	-2	$1/4 \times 2^{-2}$
Infinito negativo	1 111 00	-	-	-
Maior número normalizado	0 110 11	$13/4$	3	$13/4 \times 2^3$
Menor número não-normalizado	1 000 11	$3/4$	-2	$-3/4 \times 2^{-2}$
$5.0 - 0.75 = 4.25$	0 101 01	$11/4$	2	$11/4 \times 2^2 = 5.0$
$4.0 + 3.0 = 7.0$	0 101 11	$13/4$	2	$13/4 \times 2^2 = 7.0$

2.2.13. Bias = 0111 = 7, Regra = *round*

Descrição	Binário	Mantissa	Expoente	Valor decimal
Menos zero	1 0000 00	0	-2	-0.0
Número positivo mais próximo a zero	0 0000 01	$1/4$	-6	$1/4 \times 2^{-6}$
Maior número normalizado	0 1110 11	$13/4$	7	$13/4 \times 2^7$
Menor número não-normalizado	1 0000 11	$3/4$	-6	$-3/4 \times 2^{-6}$
$4.0 + 3.0 = 7.0$	0 1001 11	$13/4$	2	$13/4 \times 2^2 = 7.0$
$7.0 + 8.0 = 15.0$	0 1010 11	$13/4$	3	$13/4 \times 2^3 = 14.0$

2.2.14. Bias = 0111 = 7, Regra = **fração mais próxima**.

Número	Valor	Bit sinal	Bits expoente	Bits mantissa
Zero	0.0	0	0000	0000
Negativo mais próximo a zero	$-1/16 \times 2^{-6}$	1	0000	0001
Maior positivo	$1^{15}/16 \times 2^7$	0	1110	1111
n/a	-5.0	1	1001	0100
n/a	$1^9/16 \times 2^{-2}$	0	0101	1001
Menos um	-1.0	1	0111	0000
$4 - 1^9/16 = 3^9/16 = 2.4375$	$4^0/16 = 2.5$	0	1000	0100

2.2.15. Bias = 01111 = 15, Regra = **par mais próximo**.

Descrição	Binário	Mantissa	Expoente	Valor decimal
Número negativo mais próximo a zero	1 00000 0001	$1/16$	-14	$-1/16 \times 2^{-14}$
Maior número	0 11110 1111	$1^{15}/16$	15	$1^{15}/16 \times 2^{15}$
Menor número não-normalizado	1 00000 1111	$1^5/16$	-14	$1^5/16 \times 2^{-14}$
Menos um	1 01111 0000	1.0	0	-1.0