Universidade de São Paulo

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

Departamento de Sistemas de Computação

Processador ICMC

Guia de Referência

por

Paulo Sérgio Lopes de Souza

Eduardo do Valle Simões

Versão 1.0 – r2
Março de 2013

1. Considerações Iniciais

Este documento é um guia de referência rápida para o processador ICMC desenvolvido no ICMC/USP. Ele contém a descrição das principais características da organização do processador, memória, registradores, formatos das instruções e modos de endereçamento. As instruções assembly e suas versões em binário são apresentadas, agrupando-as pela funcionalidade das mesmas. Ao final do documento são apresentadas algumas diretivas usadas pelo montador.

2. Arquitetura

É uma arquitetura RISC de 16 bits, Load-Store e Multiciclo. Diagrama de bloco da CPU pode ser visto na Figura 1.

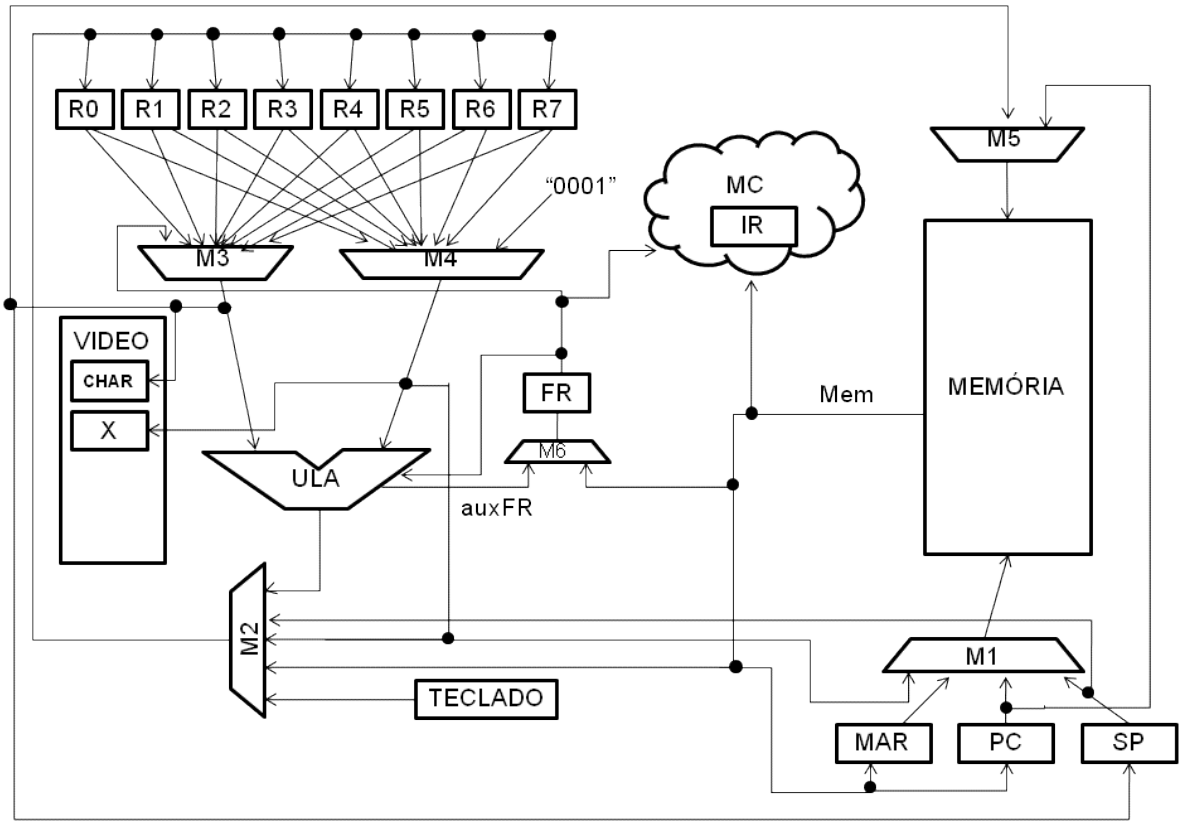


Figura 1. Diagrama de bloco da CPU ICMC.

3. Memória

A largura da palavra, o endereçamento e a menor unidade endereçável são todos de 16 bits.

4. Dados representados

Inteiro sem sinal
Char (ASCII usando 16 bits)
String (montador coloca '\0' no final da string
Não há float ou double.

5. Registradores

Nome	Qtde	Finalidade
R_n	0-7	Registradores de propósito geral
FR	1	Flag register *
SP	1	Ponteiro da pilha
PC	1	Contador de programa
IR (interno)	1	Registrador de instruções
MAR (interno)	1	Registrador de endereço de memória

* Disposição dos bits no Flag Register (FR) - Bits menos significativos do registrador de 16 bits:
<...|stackunderflow|stackoverflow|DivByZero|ArithmeticOverflow|carry|zero|equal|lesser|greater>

6. Formatos de Instrução

Todas as instruções têm 16 ou 32 bits.

Nomes dos campos:

opcode = código da operação (6 bits)
rx, ry, rz = registradores (3 bits para cada registrador)
c = uso do bit de carry (1 bit)
extended opcode (extopc)= 1, 3 ou 4 bits

Formatos de instrução

Instruções Lógicas e Aritméticas
Instruções de Entrada/Saída

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode	rx	ry	rz	c

Instruções de Carga e Armazenamento de Dados (direto e imediato)

6 bits	3 bits	7 bits
opcode	rx	
Endereço (END) ou Número (NR)		

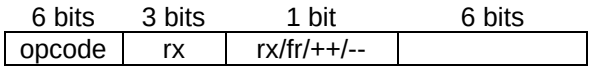
Instruções de Carga e Armazenado (indexado via registrador)
Instruções de Deslocamento e Rotação
Instruções de Movimentação de Dados

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode	rx	ry/extopc	Núm./extopc

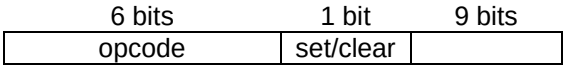
Instruções de Controle de Desvio
Instruções para Chamadas de Procedimentos

6 bits	4 bits	6 bits
opcode	extopc	
Endereço (END)		

Instruções para Manipular Pilha
Instruções para Incremento/Decremento de Registradores

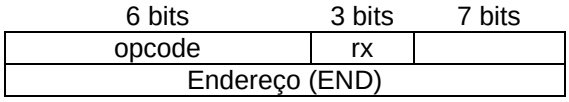


Instruções de Controle

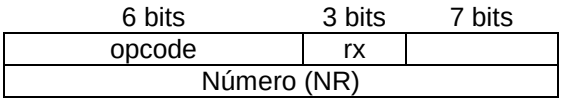


7. Modos de Endereçamento

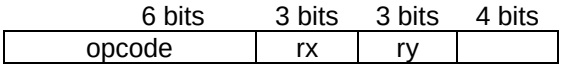
Direto – operando Endereço (END) permite acessar diretamente a posição de memória.



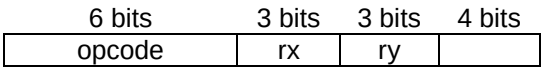
Imediato – operando Número (NR) permite acessar imediatamente a constante especificada na própria instrução.



Indexado via Registrador – operando é o número de um registrador (ry) que permite acessar a memória via conteúdo do registrador.



Registrador – operando é o número de um registrador (rx ou ry) que permite o acesso ao conteúdo do mesmo.

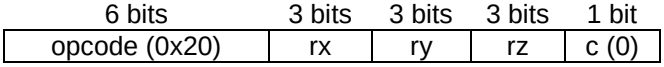


8. Instruções

Instruções Aritméticas e Lógicas

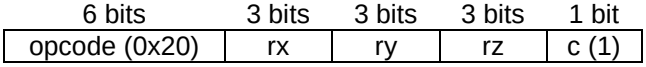
Soma o conteúdo de ry com o conteúdo de rz e armazena o resultado em rx.

add rx, ry, rz rx <= ry+rz 100000 | rx | ry | rz | 0



Soma o conteúdo de ry com o conteúdo de rz e com 1 do bit de carry, armazenando o resultado em rx.

addc rx, ry, rz rx <= ry+rz+c 100000 | rx | ry | rz | 1



Subtrai de ry do conteúdo de rz e armazena o resultado em rx.

sub rx, ry, rz rx <= ry-rz 100001 | rx | ry | rz | 0

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x21)	rx	ry	rz	c (0)

Subtrai de ry o conteúdo de rz somado com 1 do bit de carry, armazenando o resultado em rx.

subc rx, ry, rz rx <= ry-rz+c 100001 | rx | ry | rz | 1

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x21)	rx	ry	rz	c (1)

Multiplica o conteúdo de ry com rz e armazena o resultado em rx.

mul rx, ry, rz rx <= ry*rz 100010 | rx | ry | rz | 0

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x22)	rx	ry	rz	c (0)

Multiplica o conteúdo de ry com rz, soma 1 do bit de carry, armazenando o resultado em rx.

mulc rx, ry, rz rx <= ry*rz+c 100010 | rx | ry | rz | 1

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x22)	rx	ry	rz	c (1)

Divide o conteúdo de ry por rz e armazena o resultado em rx.

div rx, ry, rz rx <= ry/rz 100011 | rx | ry | rz | 0

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x23)	rx	ry	rz	c (0)

Divide o conteúdo de ry por rz, soma 1 do bit de carry, armazenando o resultado em rx.

divc rx, ry, rz rx <= ry/rz+c 100011 | rx | ry | rz | 1

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x23)	rx	ry	rz	c (1)

Incrementa o conteúdo de rx, armazenando o resultado em rx.

inc rx rx <= rx + 1 100100 | rx | 0 |xxxxxx

6 bits	3 bits	1 bit	6 bits
opcode (0x24)	rx	++ (0)	

Decrementa o conteúdo de rx, armazenando o resultado em rx.

dec rx rx <= rx -1 100100 | RX | 1 |xxxxxx

6 bits	3 bits	1 bit	6 bits
opcode (0x24)	rx	-- (1)	

Calcula o resto da divisão do conteúdo de ry por rz, atribuindo o resultado para rx.

mod rx, ry, rz rx <= ry mod rz 100101 | rx | ry | rz | x

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x25)	rx	ry	rz	

Faz a rotação à esquerda de rx, em n posições, armazenando o resultado em rx.

rotl rx, n rotate to left 010000 | rx | 10x | nnnn

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x10)	rx	10x	nnnn

Faz a rotação à direita de rx, em n posições, armazenando o resultado em rx.

rotr rx, n — rotate to right — 010000 | rx | 11x | nnnn

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x10)	rx	11x	nnnn

Faz o deslocamento à esquerda de rx, em n posições, armazenando o resultado em rx. Preenche os bits com 0 (zero).

shiftl0 rx, n — shift to left (fill 0) — 010000 | rx | 000 | nnnn

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x10)	rx	000	nnnn

Faz o deslocamento à esquerda de rx, em n posições, armazenando o resultado em rx. Preenche os bits com 1 (um).

shiftl1 rx, n — shift to left (fill 1) — 010000 | rx | 001 | nnnn

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x10)	rx	001	nnnn

Faz o deslocamento à direita de rx, em n posições, armazenando o resultado em rx. Preenche os bits com 0 (zero).

shiftr0 rx, n — shift to right (fill 0) — 010000 | rx | 010 | nnnn

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x10)	rx	010	nnnn

Faz o deslocamento à direita de rx, em n posições, armazenando o resultado em rx. Preenche os bits com 1 (zero).

shiftr1 rx, n — shift to right (fill 1) — 010000 | rx | 011 | nnnn

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x10)	rx	011	nnnn

Faz a operação lógica AND sobre cada bit de ry com rz, armazenando o resultado em rx.

and rx, ry, rz — rx <= ry and rz — 010010 | rx | ry | rz | x

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x12)	rx	ry	rz	

Faz a operação lógica OR sobre cada bit de ry com rz, armazenando o resultado em rx.

or rx, ry, rz — rx <= ry or rz — 010011 | rx | ry | rz | x

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x13)	rx	ry	rz	

Faz a operação lógica XOR sobre cada bit de ry com rz, armazenando o resultado em rx.

xor rx, ry, rz — rx <= ry xor rz — 010100 | rx | ry | rz | x

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x14)	rx	ry	rz	

Faz a operação lógica NOT sobre cada bit de ry, armazenando o resultado em rx.

not rx, ry — rx <= not(ry) — 010101 | rx | ry | xxx | x

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x15)	rx	ry		

Compara o conteúdo de rx com o conteúdo de ry, setando apropriadamente o bit do registrador fr (Flag Register). Os bits do fr seguem o padrão descrito na seção Registradores deste Guia de Referência.

cmp rx, ry fr <= fr or condição 010110 | rx | ry | xxx | x

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x16)	rx	ry		

Instruções de Acesso à Memória

Armazena o conteúdo de rx na memória apontada por END.

store END, rx mem[END] <= rx 110001 | rx | xxx | xxx | x END

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x31)	rx			
END				

Carrega em rx o conteúdo da memória apontada por END.

load rx, END rx <= Mem[END] 110000 | rx | xxx | xxx | x END

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x30)	rx			
END				

Armazena o conteúdo de ry na memória apontada pelo conteúdo de rx.

storei rx, ry mem[rx] <= ry 111101 | rx | ry | xxxx

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x3d)	rx	ry	

Carrega em rx o conteúdo da memória apontada pelo conteúdo de ry.

loadi rx, ry rx <= mem[ry] 111100 | rx | ry | xxxx

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x3c)	rx	ry	

Movimentação de Dados

Carrega em rx um valor imediato presente na própria instrução.

loadn rx, #NR rx <= NR 111000 | rx | xxx | xxx | 0 NR

6 bits	3 bits	3 bits	3 bits	1 bit
opcode (0x38)	rx			0
NR				

Copia em rx o conteúdo de ry.

mov rx, ry rx <= ry 110011 | rx | ry | xxx0

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x33)	rx	ry	xxx0

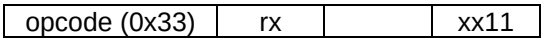
Copia em rx o conteúdo de SP.

mov rx, sp rx <= sp 110011 | rx | xxx | xx01

6 bits	3 bits	3 bits	4 bits
opcode (0x33)	rx		xx01

Copia em sp o conteúdo de rx.

mov sp, rx sp <= rx 110011 | rx | xxx | xx11



Instruções de Desvio

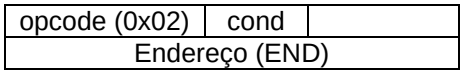
Se satisfizerem a condição, todas as instruções desviam o fluxo de execução para o endereço apontado por END. A instrução ***jmp END*** é incondicional. Os seguintes passos são efetuados:

Se (condição é satisfeita) **então** // exceção: ***jmp END*** que é incondicional

pc <= END

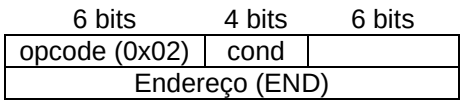
Desvia incondicionalmente para a instrução em END.

jmp END pc <= END (unconditional) 000010 | 0000 | xxxxxx END



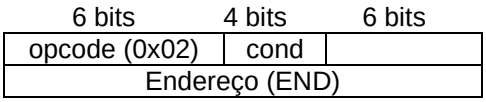
Desvia para a instrução em END se a última comparação de rx e ry tenha resultado igualdade.

jeq END pc <= END (Equal) 000010 | 0001 | xxxxxx END



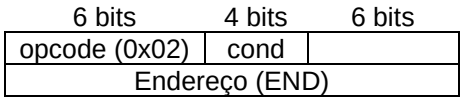
Desvia para a instrução em END se a última comparação resultou que os números não eram iguais.

jne END pc <= END (NotEqual) 000010 | 0010 | xxxxxx END



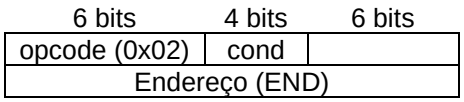
Desvia para a instrução em END se a última operação aritmética/lógica resultou o número 0 (zero).

jz END pc <= END (Zero) 000010 | 0011 | xxxxxx END



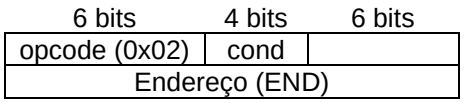
Desvia para a instrução em END se a última operação aritmética/lógica não resultou o número 0 (zero).

jnz END pc <= END (NotZero) 000010 | 0100 | xxxxxx END



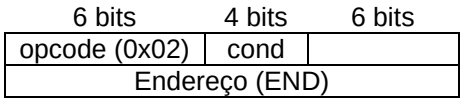
Desvia para a instrução em END se a última operação aritmética teve um bit de carry em relação ao par de bits mais significativos dos operandos.

jc END pc <= END (Carry) 000010 | 0101| xxxxxx END



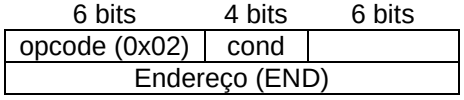
Desvia para a instrução em END se a última operação aritmética não teve um bit de carry em relação ao par de bits mais significativos dos operandos.

jnc END pc <= END (NotCarry) 000010 | 0110 | xxxxxx END



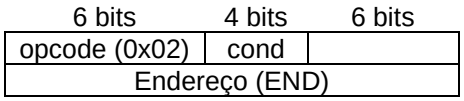
Desvia para a instrução em END se a última comparação resultou em rx > ry.

jgr END pc <= END (Greater) 000010 | 0111 | xxxxxx END



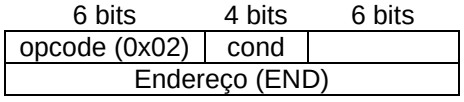
Desvia para a instrução em END se a última comparação resultou em rx < ry.

jle END pc <= END (Lesser) 000010 | 1000 | xxxxxx END



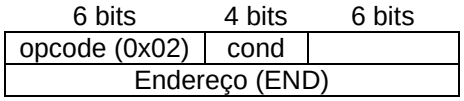
Desvia para a instrução em END se a última comparação resultou em rx >= ry.

jeg END pc <= END (EqualorGreater) 000010 | 1001 | xxxxxx END



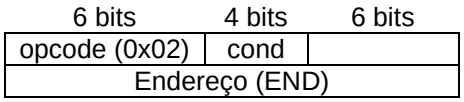
Desvia para a instrução em END se a última comparação resultou em rx <= ry.

jel END pc <= END (EqualorLesser) 000010 | 1010 | xxxxxx END



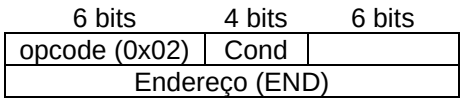
Desvia para a instrução em END se a última operação aritmética resultou um overflow.

jov END pc <= END (Overflow ULA) 000010 | 1011 | xxxxxx END



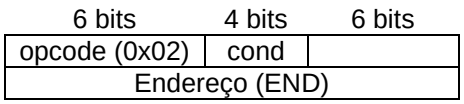
Desvia para a instrução em END se a última operação aritmética não resultou um overflow.

jno END pc <= END (NotOverflow) 000010 | 1100 | xxxxxx END



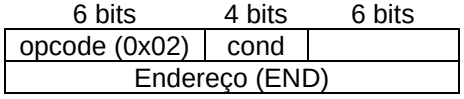
Desvia para a instrução em END se a última operação aritmética resultou um número negativo.

jn END pc <= END (Negative ULA) 000010 | 1101 | xxxxxx END



Desvia para a instrução em END se a última operação aritmética resultou em uma divisão por zero.

jdz END pc <= END (DivbyZero) 000010 | 1110 | xxxxxx END



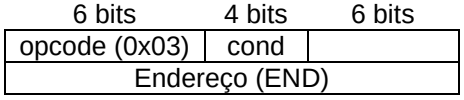
Instruções de Chamadas a Procedimentos

Se satisfizerem a condição, todas as instruções guardam o conteúdo de PC na pilha e então desviam o fluxo de execução para o endereço apontado por END. A instrução ***call END*** é incondicional. Os seguintes passos são efetuados:

Se (condição é satisfeita) **então** // exceção: ***call END*** que é incondicional
memória(sp) <= pc
pc <= END
sp <= sp -1

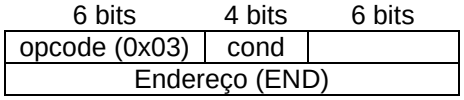
Desvia fluxo de execução incondicionalmente para END. Salva na pilha o conteúdo de PC.

call END (unconditional) 000011 | 0000 | xxxxxx END



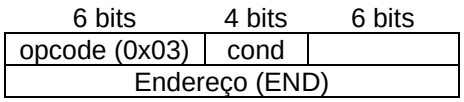
Desvia fluxo de execução para END caso a última comparação de rx e ry tenha resultado igualdade. Salva na pilha o conteúdo de PC.

ceq END (Equal) 000011 | 0001 | xxxxxx END



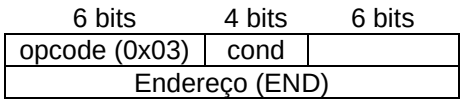
Desvia fluxo de execução para END caso a última comparação de rx e ry não tenha resultado igualdade. Salva na pilha o conteúdo de PC.

cne END (NotEqual) 000011 | 0010 | xxxxxx END



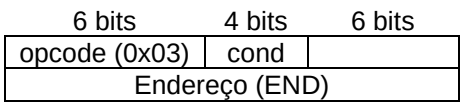
Desvia fluxo de execução para END caso a última operação aritmética tenha resultado 0 (zero) . Salva na pilha o conteúdo de PC.

cz END (Zero) 000011 | 0011 | xxxxxx END



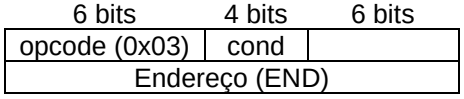
Desvia fluxo de execução para END caso a última operação aritmética não tenha resultado 0 (zero). Salva na pilha o conteúdo de PC.

cnz END (NotZero) 000011 | 0100 | xxxxxx END



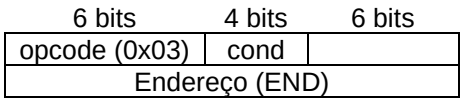
Desvia fluxo de execução para END caso a última operação aritmética tenha apresentado um bit de carry, considerando os bits mais significativos dos operandos. Salva na pilha o conteúdo de PC.

cc END (Carry) 000011 | 0101| xxxxxx END



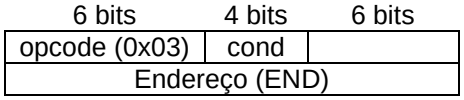
Desvia fluxo de execução para END caso a última operação aritmética não tenha apresentado um bit de carry, considerando os bits mais significativos dos operandos. Salva na pilha o conteúdo de PC.

cnc END (NotCarry) 000011 | 0110 | xxxxxx END



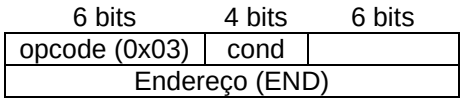
Desvia fluxo de execução para END caso a última comparação entre rx e ry tenha resultado "maior". Salva na pilha o conteúdo de PC.

cgr END (Greater) 000011 | 0111 | xxxxxx END



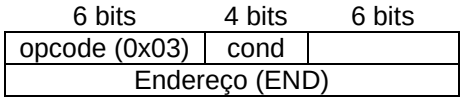
Desvia fluxo de execução para END caso a última comparação entre rx e ry tenha resultado "menor". Salva na pilha o conteúdo de PC.

cle END (Lesser) 000011 | 1000 | xxxxxx END



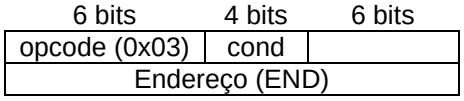
Desvia fluxo de execução para END caso a última comparação entre rx e ry tenha resultado "maior ou igual". Salva na pilha o conteúdo de PC.

ceg END (EqualorGreater) 000011 | 1001 | xxxxxx END



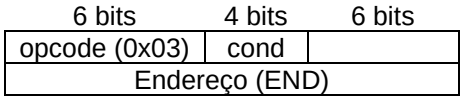
Desvia fluxo de execução para END caso a última comparação entre rx e ry tenha resultado "menor ou igual". Salva na pilha o conteúdo de PC.

cel END (EqualorLesser) 000011 | 1010 | xxxxxx END



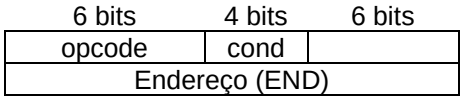
Desvia fluxo de execução para END caso a última operação aritmética tenha resultado um overflow. Salva na pilha o conteúdo de PC.

cov END (Overflow ULA) 000011 | 1011 | xxxxxx END



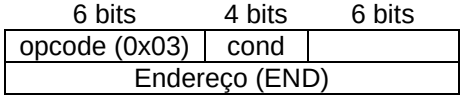
Desvia fluxo de execução para END caso a última operação aritmética não tenha resultado um overflow. Salva na pilha o conteúdo de PC.

cno END (NotOverflow) 000011 | 1100 | xxxxxx END



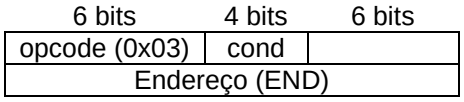
Desvia fluxo de execução para END caso a última operação aritmética tenha resultado um número negativo. Salva na pilha o conteúdo de PC.

cn END (Negative ULA) 000011 | 1101 | xxxxxx END



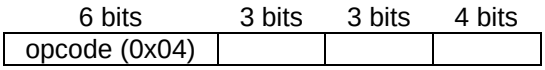
Desvia fluxo de execução para END caso a última operação aritmética tenha resultado uma divisão por zero. Salva na pilha o conteúdo de PC.

cdz END (DivbyZero) 000011 | 1110 | xxxxxx END



Retorna o fluxo de execução, ao final de um procedimento. Recupera o conteúdo de PC da pilha, permitindo o retorno no final da execução de um procedimento. Ao usar esta instrução, deve-se sempre incrementar pc depois, pois o mesmo estará apontando para o END da rotina que fez a chamada (call). Os passos executados são:

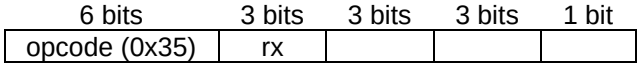
rts sp <= sp + 1 000100 | xxxxxxxxxx
pc <= memória(sp)
pc <= pc + 1



Instruções de Entrada e Saída

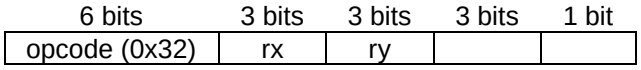
Permite a entrada de um caracter vindo do teclado[1]

inchar rx rx<="00000000"&key 110101 | rx | xxx | xxx | x



Permite escrever um caracter existente em rx (código ASCII do caracter está em rx) na posição ry do vídeo.

outchar rx, ry vídeo(ry) <= ASCII(rx) 110010| rx | ry | xxx | x



[1] Para utilizar a instrução *inchar,* implemente uma espera ocupada (*loop)* verificando se o valor do registrador rx é diferente de 255. Exemplo:

```
loadn r1, #255                ;Carrega valor 255 em r1 para futura comparacao

ler_tecla:                    ;Inicio do loop
      inchar r0               ;Ler entrada do teclado
      cmp r0, r1              ;Compara a entrada com 255
      jeq ler_tecla           ;Se o valor continuar sendo 255 volta ao inicio do loop
      outchar r0, r7          ;Se o valor da entrada for diferente de 255 imprime na tela
```

Instruções para Manipulação da Pilha

Insere o conteúdo de rx na pilha. Decrementa sp após inserção.

push	rx	memória(sp) <= rx sp <= sp - 1	000101 | rx | 0 | xxxxxx

6 bits	3 bits	1 bit	6 bits
opcode (0x05)	rx	0	

Insere o conteúdo de fr na pilha. Decrementa sp após inserção.

push	fr	memória(sp) <= fr sp <= sp -1	000101 | xxx | 1 | xxxxxx

6 bits	3 bits	1 bit	6 bits
opcode (0x05)	rx	1	

Retira o conteúdo do topo da pilha e o atribui para rx. Incrementa sp antes da operação.

pop	rx	sp <= sp + 1 memória(sp) => rx	000110 | rx | 0 | xxxxxx

6 bits	3 bits	1 bit	6 bits
opcode (0x06)	rx	0	

Retira o conteúdo do topo da pilha e o atribui para fr. Incrementa sp antes da operação.

pop	fr	sp <= sp + 1 memória(sp) => fr	000110 | xxx | 1 | xxxxxx

6 bits	3 bits	1 bit	6 bits
opcode (0x06)	rx	1	

Instruções de Controle

Atribui 0 (zero) ao bit de carry em fr.

clearc	c<-0	001000 | 0 | xxxxxxxxx

6 bits	1 bit	9 bits
opcode (0x08)	0	

Atribui 1 (um) ao bit de carry em fr.

setc	c<-1	001000 | 1 | xxxxxxxxx

6 bits	1 bit	9 bits
opcode (0x08)	1	

Termina a execução do programa.

halt	stop execution	001111 | x | xxxxxxxxx

6 bits	1 bit	9 bits
opcode (0x0f)		

Troca o modo de execução para clock manual, i.e., insere um *break-point* no código.

breakp	Insert break point	001110 | xxxxxxxxxx

6 bits	1 bit	9 bits
opcode (0x0e)		

Operação nula.

nop	no operation	000000 | x | xxxxxxxxx

6 bits	1 bit	9 bits
opcode (0x00)		

9. Diretivas para o Montador

O montador não é *case sensitive.*

; (ponto e vírgula)

Inicia um comentário na linha.

Exemplo de uso:

; este é um comentário no código fonte.

label:

Rótulo que indica um endereço na memória. Pode indicar uma posição para o início de um dado ou de uma instrução.

Exemplos de uso:

inicio_loop:

main:

var #quantidade de posições

Reserva <quantidade de posições> na memória. Está associada a um rótulo, normalmente. Cada posição tem 16 bits.

Exemplo de uso:

word: var #20 ; reserva 20 posições de 16 bits na memória sendo que o rótulo word aponta para a primeira posição.

static <label> + #<pos>, #<num>

Preenche a memória na posição apontada por <label> mais <pos> deslocamentos, com o número <num>, o qual deve ser um inteiro sem sinal. As posições de memória já devem ter sido alocadas previamente. Cada posição de memória tem 16 bits.

Exemplo de uso:

static word + #0, #5 ; preenche a primeira posição apontada pelo rótulo word com o número 5.

static word + #1, #8 ; preenche a segunda posição apontada pelo rótulo word com o número 8.

string "caracteres"

Aloca a quantidade necessária de posições de memória para armazenar a string em "***caracteres***" e mais uma posição para o '\0'. Preenche as posições de memória alocadas com os códigos ASCII da string. Cada posição de memória tem 16 bits.

Exemplo de uso:

mensagem: string "Organizacao" ; aloca 12 posições de memória ao todo: 11 para todas as letras e mais 1 para \0 no final. O rótulo mensagem aponta para o primeiro caracter da string.