UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS TRINDADE
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA
CURSO CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Rita Louro Barbosa – 22203157
Bianca Mazzuco Verzola - 22202621

INE5411 – Organização de Computadores I

Laboratório 06

Introdução

Os códigos e conhecimentos utilizados tomaram como base as informações dos módulos 1 a 12 de conteúdo disponibilizados no Moodle pelo professor.

1. Questão 1

1.1 Apresentação da questão

A questão 1 solicita um programa em Assembly do MIPS, a ser executado no simulador MARS, que calcule o fatorial de um número e atende às seguintes premissas:

- Receba via teclado o valor do número a ser calculado o fatorial;
- Efetue o cálculo do fatorial sem o uso de procedimentos; e
- Mostre o resultado na tela do computador.

1.2 Estrutura do código

Para a implementação em Assembly das operações requisitadas, foram utilizadas instruções aritméticas, de escrita e leitura do console e de desvio para realizar loops.

Inicialmente, no segmento de dados (.data), são colocadas 2 strings que serão, futuramente, escritas no console para facilitar o entendimento do usuário sobre o funcionamento do programa.

Logo depois, no início do segmento de programa (.text), uma dessas strings, "Digite o valor a ser calculado o fatorial: ", é escrita no console indicando ao usuário que ele deve escrever um número. E então, o cálculo do fatorial inicia.

Cálculo do fatorial:

- Número lido é colocado em um registrador temporário que será decrementado ao longo do cálculo;
- Um registrador que guardará o resultado do fatorial é inicializado com 1 para posteriormente as multiplicações serem realizadas;
- Loop inicia:
    - Condição para o loop acontecer: valor que está no registrador do número lido ser maior ou igual a 2;
    - O que acontece no loop:
        - Multiplica o resultado (iniciado com 1) pelo número lido;
        - Número lido é decrementado 1;
        - Volta ao início do loop testando a condição.

Assim, o cálculo acontece de forma que se o número dado pelo usuário for:

- 0 ou 1: o programa não entrará no loop e o resultado será 1 já que o registrador que guarda o resultado é inicializado com 1 antes do loop;

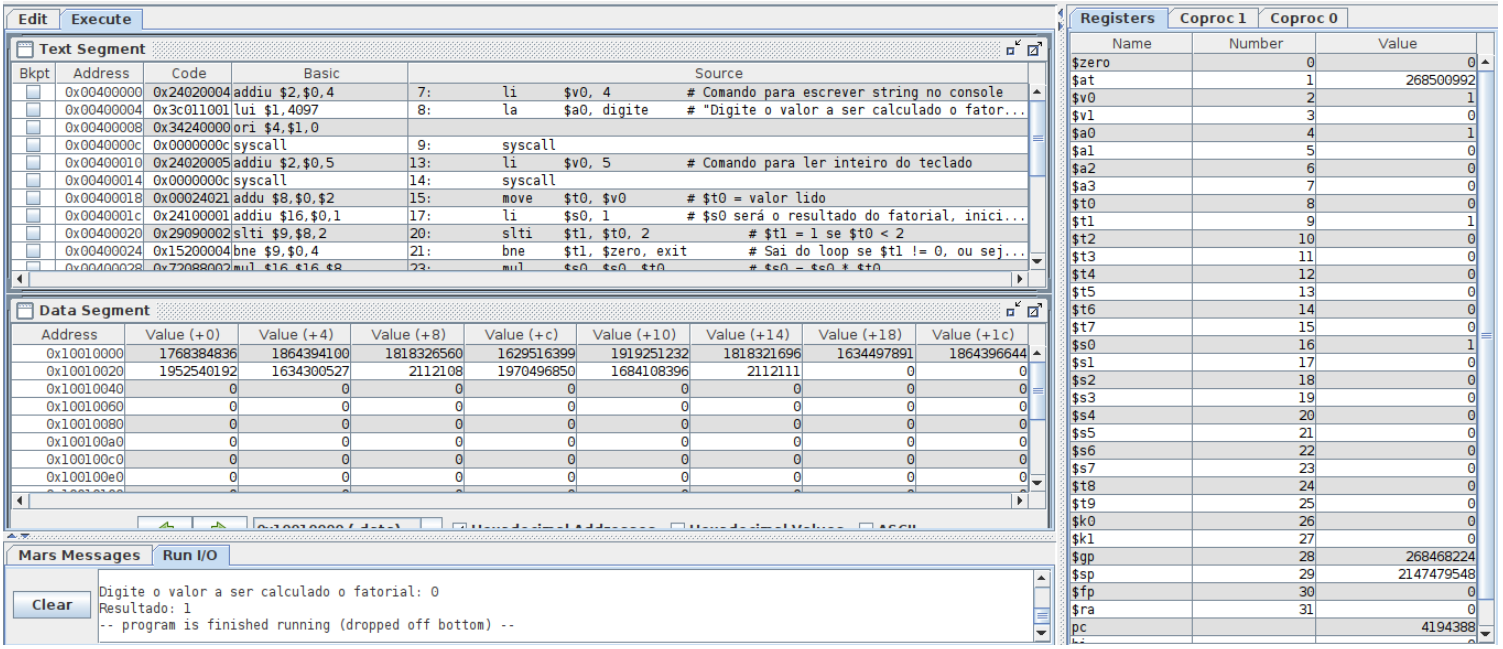
- números maiores ou iguais a 2: o programa entrará no teste de condição do loop n vezes (sendo “n” o número dado), porém entrará no nas operações contidas no loop n-1 vezes (já que no último teste, o registrador do número lido valerá 1), multiplicando n pelos números menores que ele e maiores que 1, ou seja, n * (n-1) * (n-2) * … * 2. (OBS: o 1 não entra nessa multiplicação pois o programa teria que realizar mais 1 loop sendo que o resultado seria o mesmo)

Após o cálculo ser realizado, a outra string armazenada na memória, “Resultado: “ é escrito no console e então o resultado do cálculo do fatorial é escrito no console.

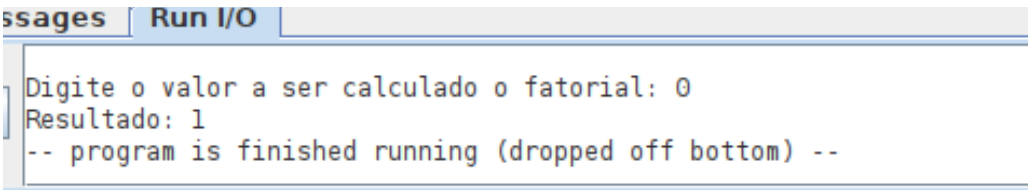
1.3 Resultados

O correto funcionamento do programa pode ser verificado por meio de alguns testes:

- Fatorial de 0:

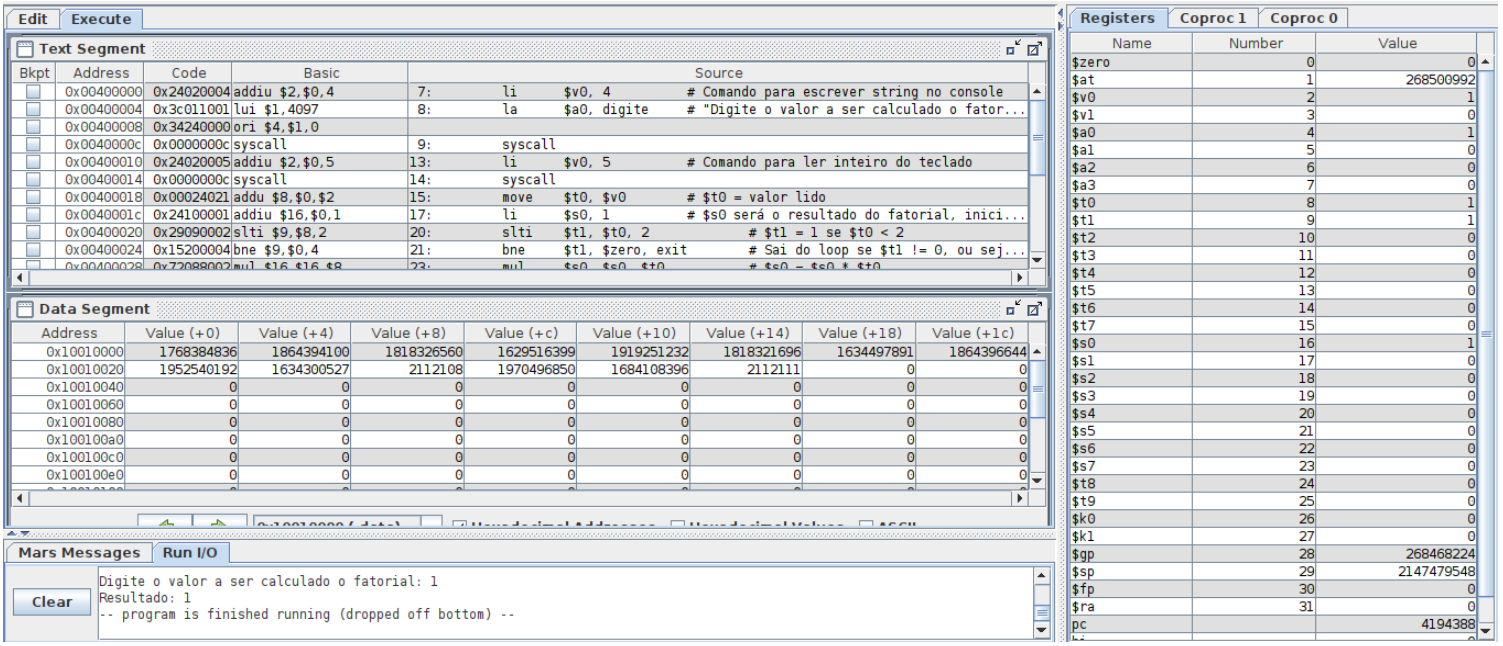


Enfoque no console:

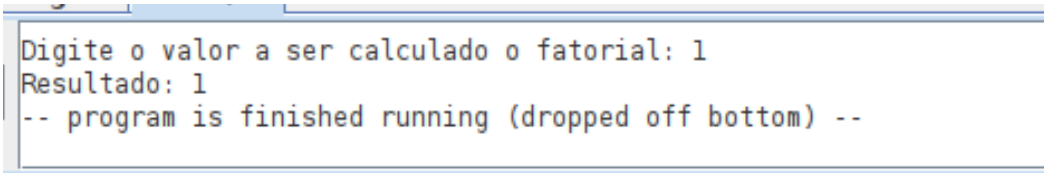


O programa funciona corretamente para o número 0, já que 0! = 1

- Fatorial de 1:

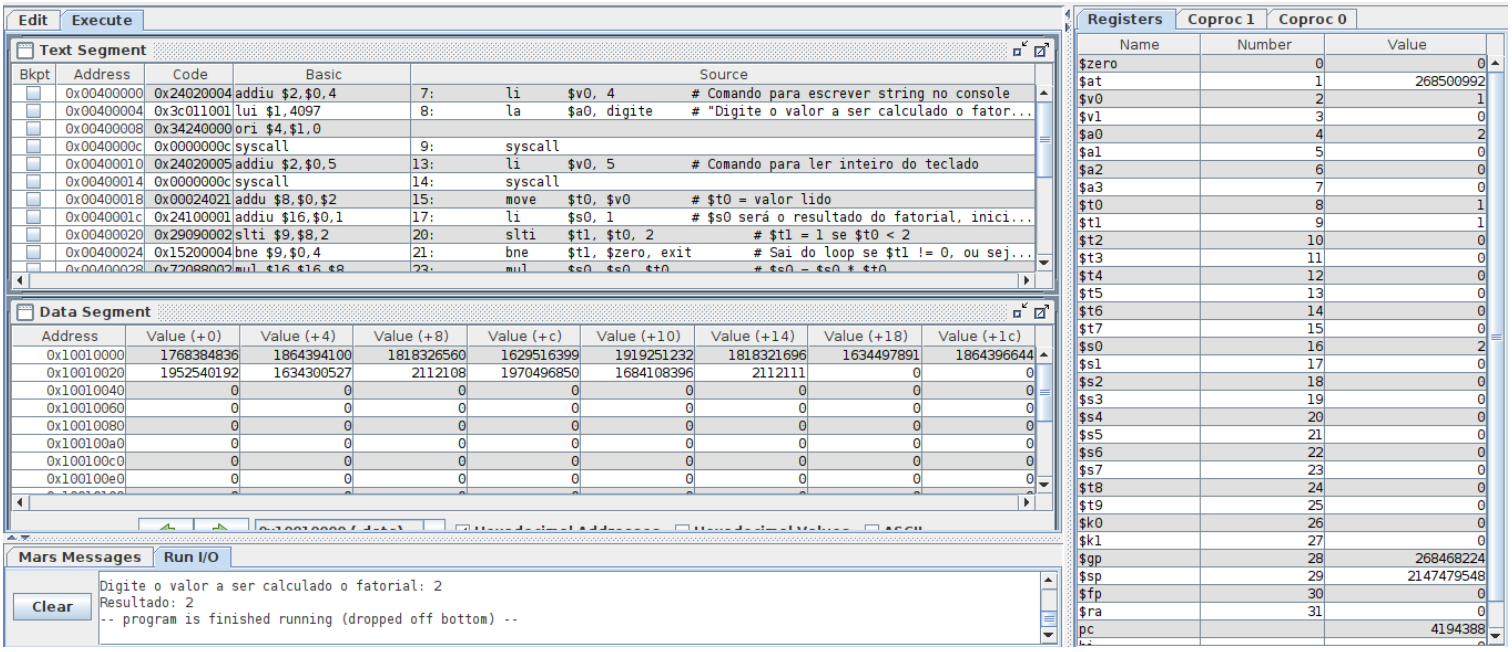


Enfoque no console:

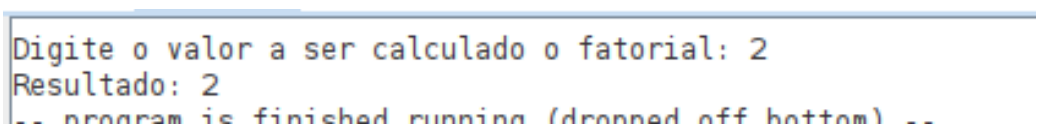


O programa funciona corretamente para o número 1, já que 1! = 1

- Fatorial de 2:

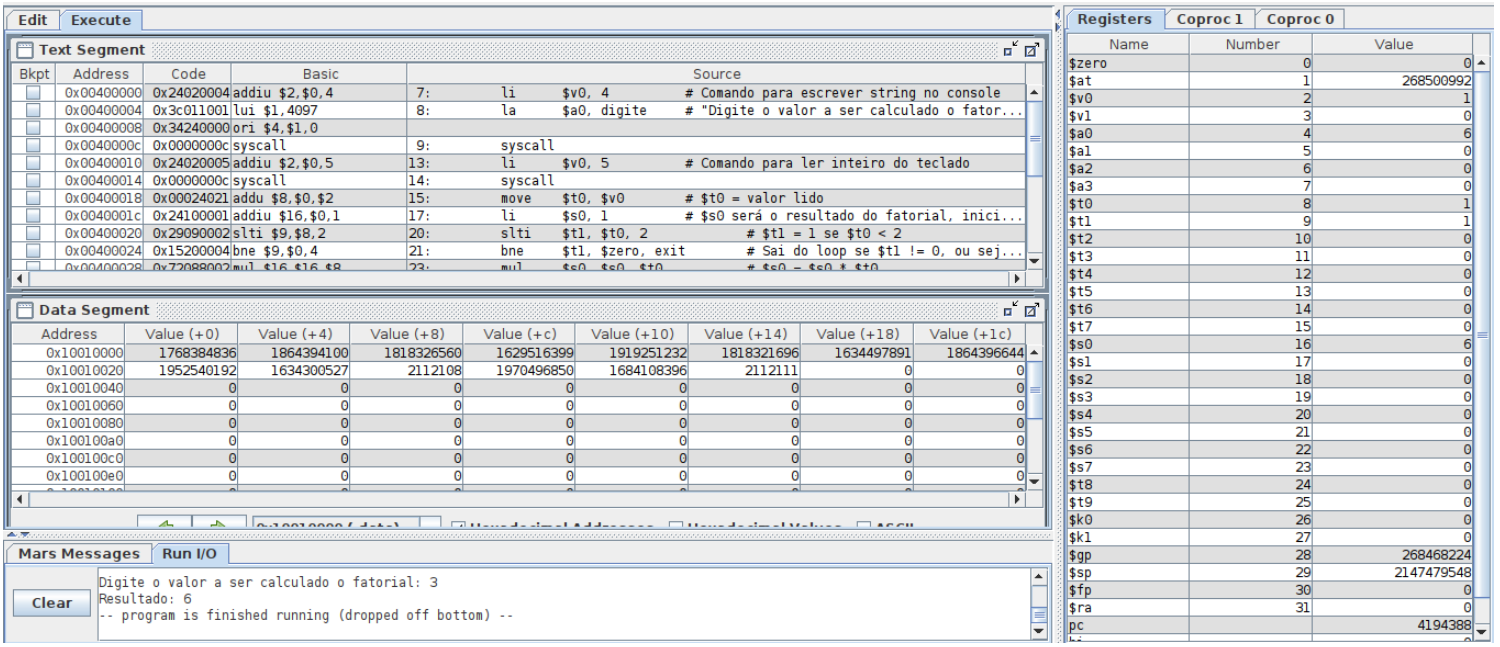


Enfoque no console:

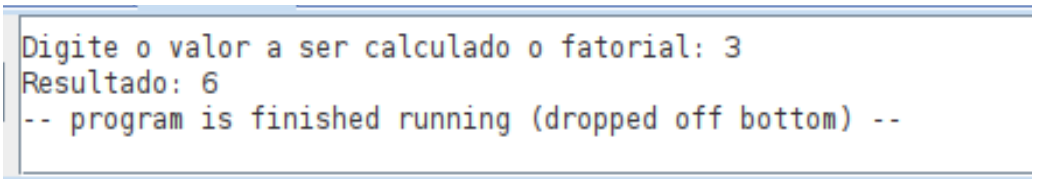


O programa funciona corretamente para o número 2, já que 2! = 2 * 1 = 2

- Fatorial de 3:

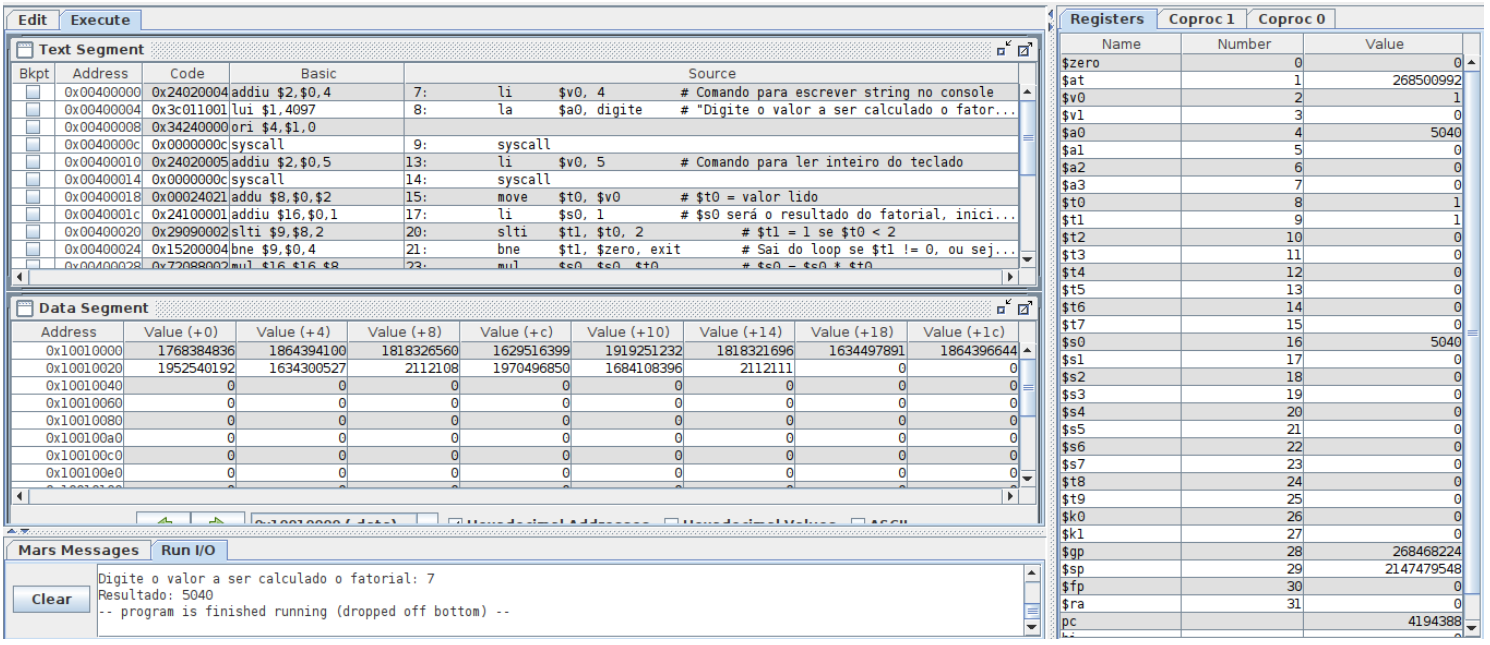


Enfoque no console:

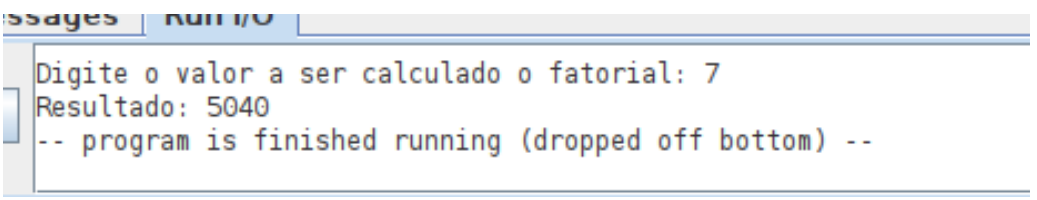


O programa funciona corretamente para o número 3, já que 3! = 3 * 2 * 1 = 6

- Fatorial de 7:

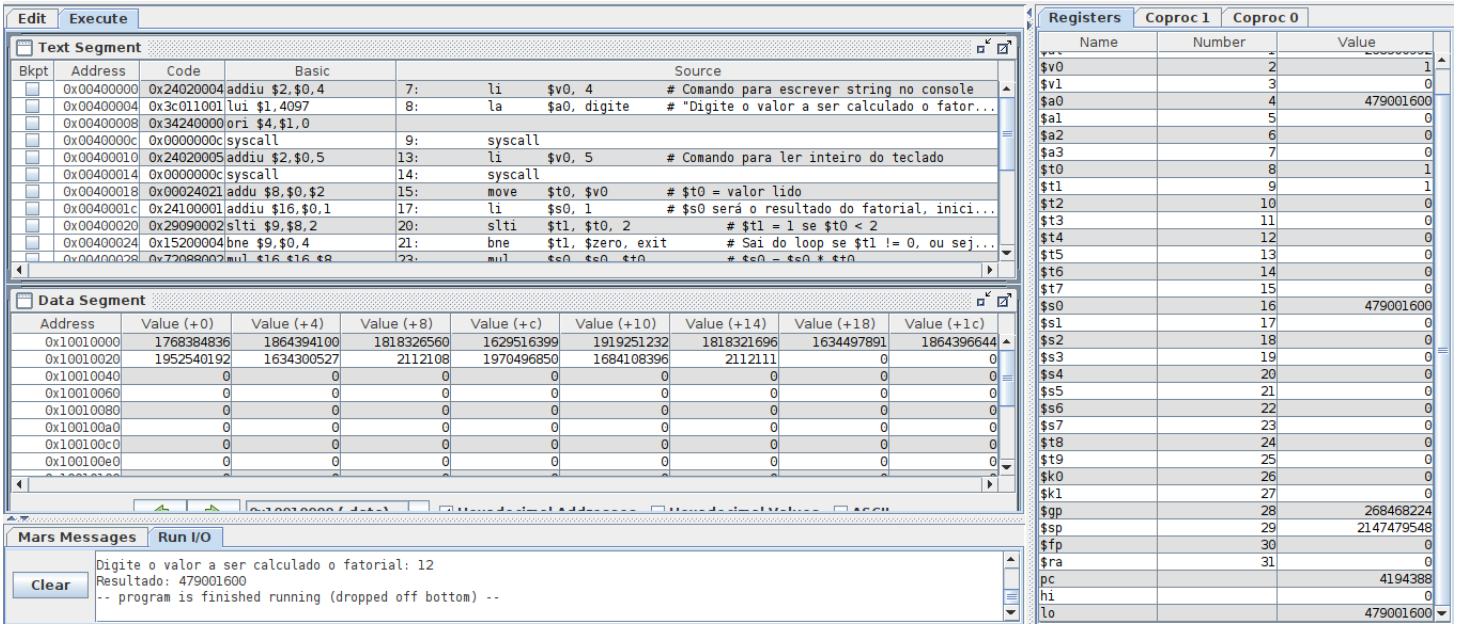


Enfoque no console:

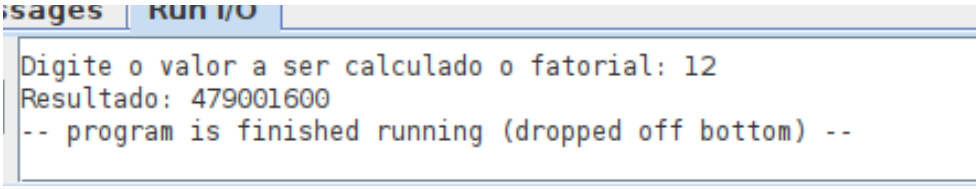


O programa funciona corretamente para o número 7, já que 7! = 7 * 6 * 5 * 4 * 3 * 2 * 1 = 5040

- Fatorial de 12:

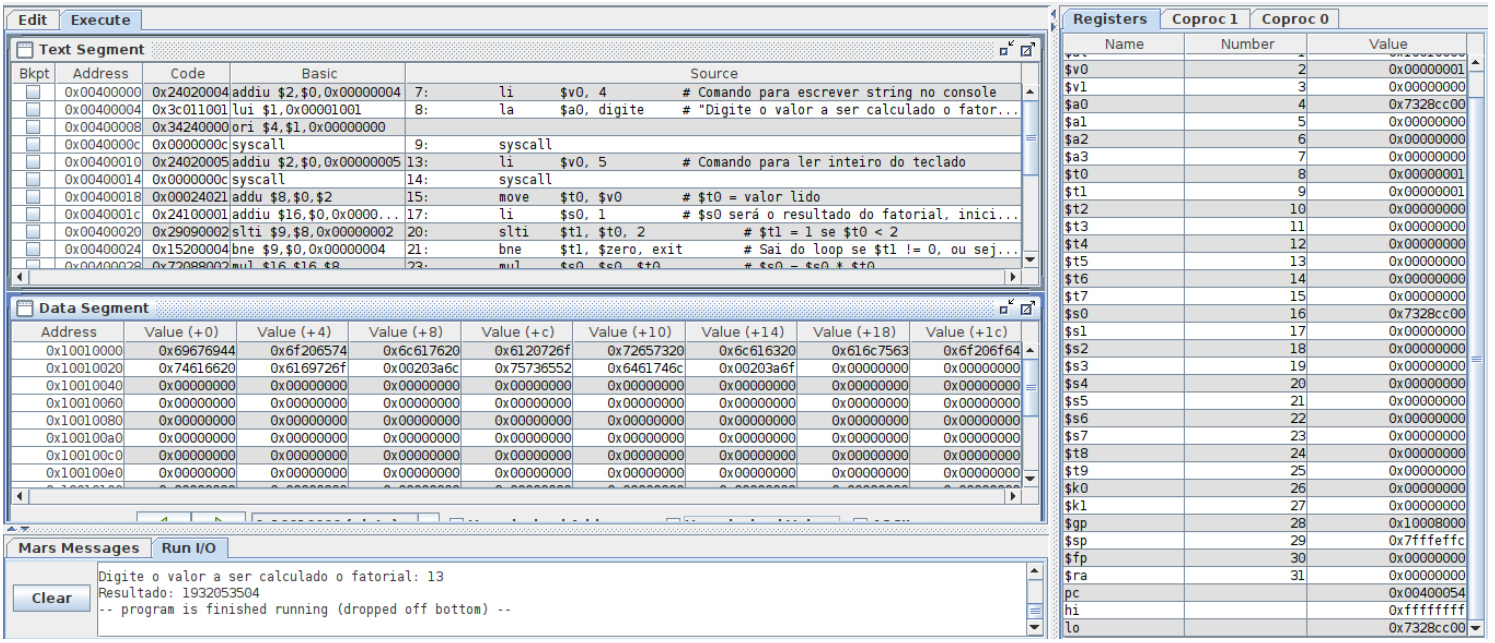


Enfoque no console:

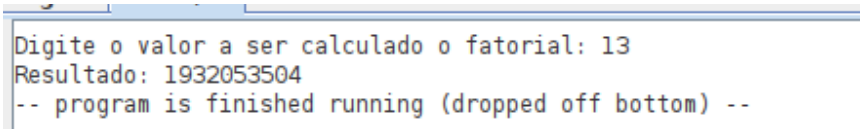


O programa funciona corretamente para o número 12, já que 12! = 12 * 11 * 10 * 9 * 8 * 7 * 6 * 5 * 4 * 3 * 2 * 1 = 479001600

- Para números iguais ou maiores que 13 o programa não gera o resultado correto pois os registradores usados no programa tem apenas 32 bits cada e eles não são suficientes para armazenar o resultado. Exemplo: fatorial de 13:



Enfoque no console:



O programa não funciona para esse valor já que 13! = 6227020800

Se o programa usasse os registradores de ponto flutuante de dupla precisão, ele funcionaria corretamente para 13 e alguns números maiores que 13, porém o programa ainda teria um limite de funcionamento pois não existe registrador com uma quantidade infinita de bits.

2. Questão 2

2.1 Apresentação da questão

A questão 2 solicita um programa em Assembly do MIPS, a ser executado no simulador MARS, que calcule o fatorial de um número e atende às seguintes premissas:

- Receba via teclado o valor do número a ser calculado o fatorial;
- Chame uma função fatorial( ) - procedimento - para calcular, de modo recursivo, o fatorial do número; e
- Mostre o resultado na tela do computador.

2.2 Estrutura do código

Para a implementação em Assembly das operações requisitadas, foram utilizadas instruções aritméticas, de escrita e leitura do console, de desvio e de chamada e retorno de procedimentos.

Inicialmente, assim como na questão 1, no segmento de dados (.data), são colocadas 2 strings e, logo depois, no início do segmento de programa (.text), uma dessas strings, "Digite o valor a ser calculado o fatorial: ", é escrita no console indicando ao usuário que ele deve escrever um número. E então, o cálculo do fatorial inicia.

Cálculo do fatorial:

- Número lido é colocado como argumento $a0 do procedimento *fatorial*;
- *fatorial* é chamado;
- Se o número dado pelo usuário for menor que 2 (0 ou 1):
    - Registrador de retorno $v0 passa a ser 1;
    - O programa volta ao chamador do procedimento (código principal, conforme indicado no código).
- Caso contrário:
    - Salva na pilha o endereço atual de retorno e o valor do argumento $a0 do procedimento atual;
    - O procedimento *fatorial* é chamado recursivamente com o argumento $a0 decrementado 1 em relação ao $a0 do procedimento que estava anteriormente.

- O novo procedimento verificará se $a0 é maior ou igual a 2:
  - Se sim, $a0 e $sp serão salvos na pilha e *fatorial* será chamada novamente com $a0 = $a0 -1 (isso continuará acontecendo até que $a0 for igual a 1);
  - Se não:
    - O retorno $v0 será inicializado com 1;
    - O programa volta ao chamador do procedimento atual (esse chamador é o *fatorial* anterior);
    - A pilha é restaurada, recuperando o endereço de retorno e o $a0 do procedimento;
    - O valor do retorno $v0 do *fatorial* anterior é multiplicado pelo $a0 do *fatorial* atual, e o resultado é colocado no $v0 (retorno do *fatorial* atual);
    - O programa volta ao chamador do procedimento atual, que pode estar novamente em outro *fatorial* e fará os 2 passos anteriores de novo até que o chamador seja parte do código principal, ou pode estar no código principal.

De volta ao código principal, a outra string armazenada na memória, “Resultado: “ é escrita no console e então o resultado do cálculo do fatorial é escrito no console. Após isso, o programa é encerrado.

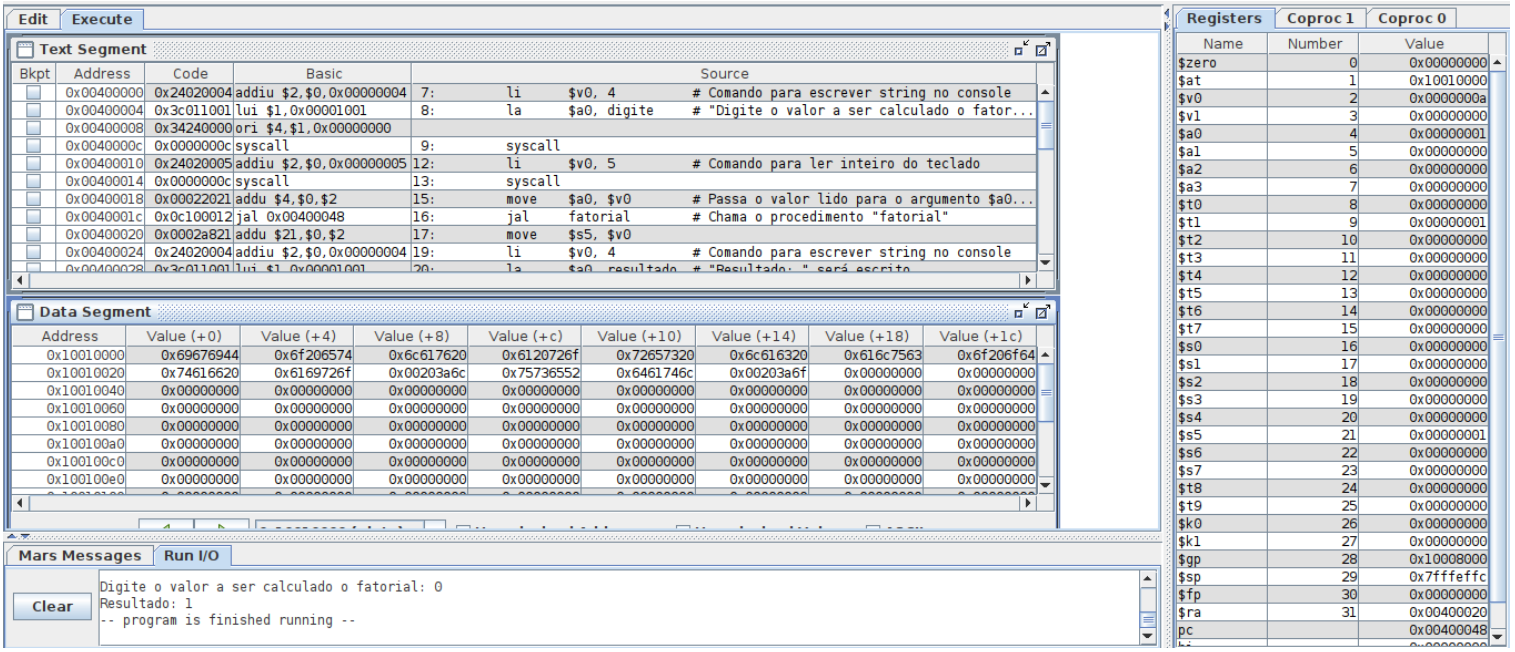
Dessa forma, o cálculo acontece de forma que se o número dado pelo usuário for:

- 0 ou 1: o procedimento *fatorial* será chamado apenas 1 vez e o retorno dele será 1 (resultado do fatorial de 0 ou de 1);
- números maiores ou iguais a 2: o procedimento será chamado n vezes (sendo “n” o número dado), entrando os números de n a 1 como argumento $a0 desses procedimentos e multiplicando todos esses argumentos (1 * 2 * 3 * 4 * … * n).

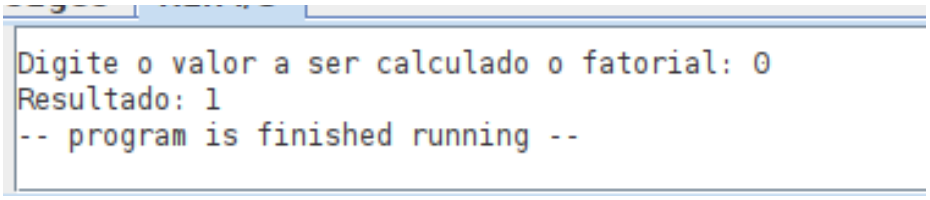
2.3 Resultados

O correto funcionamento do programa pode ser verificado por meio de alguns testes:

- Fatorial de 0:

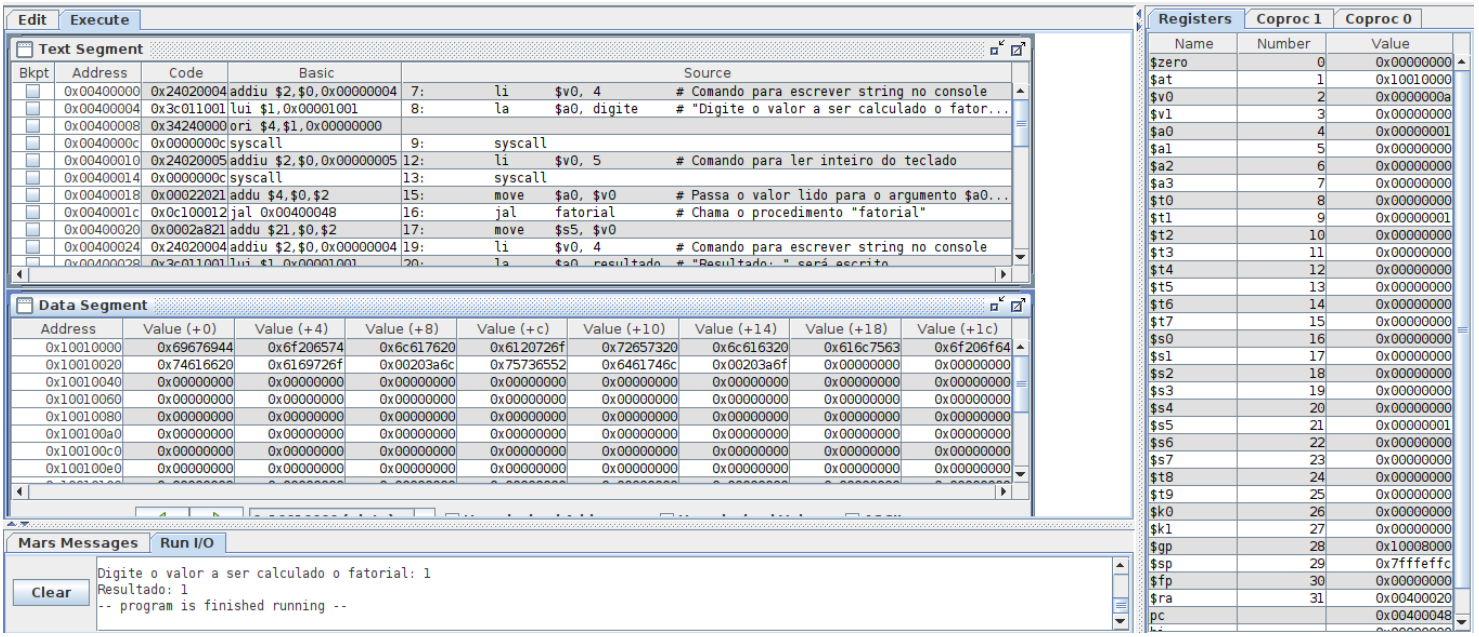


Enfoque no console:

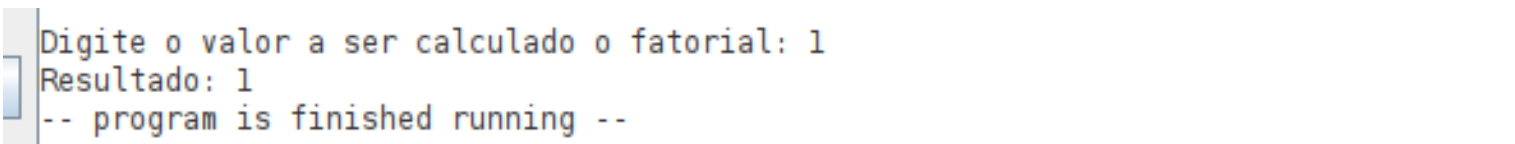


O programa funciona corretamente para o número 0, já que 0! = 1

- Fatorial de 1:

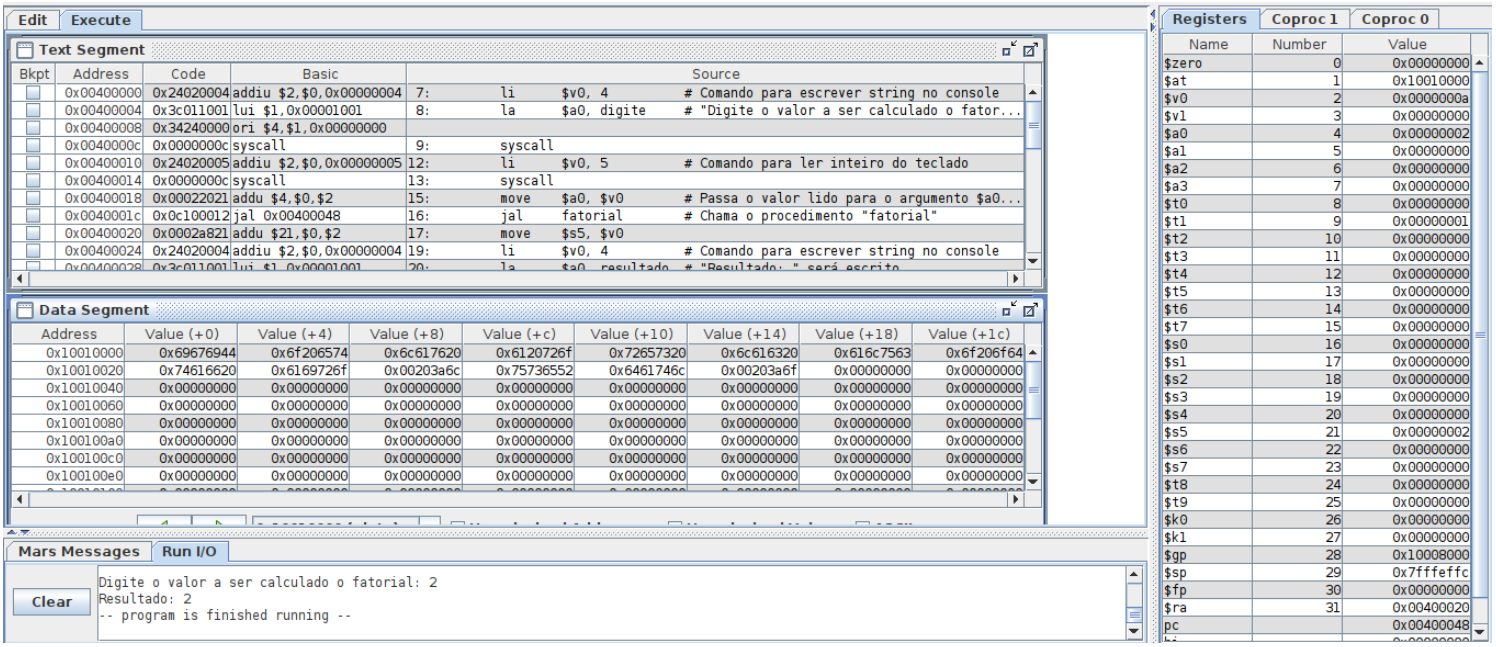


Enfoque no console:

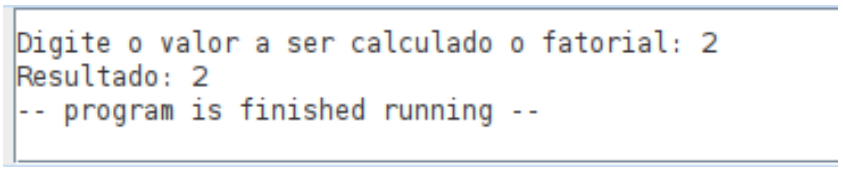


O programa funciona corretamente para o número 1, já que 1! = 1

- Fatorial de 2:

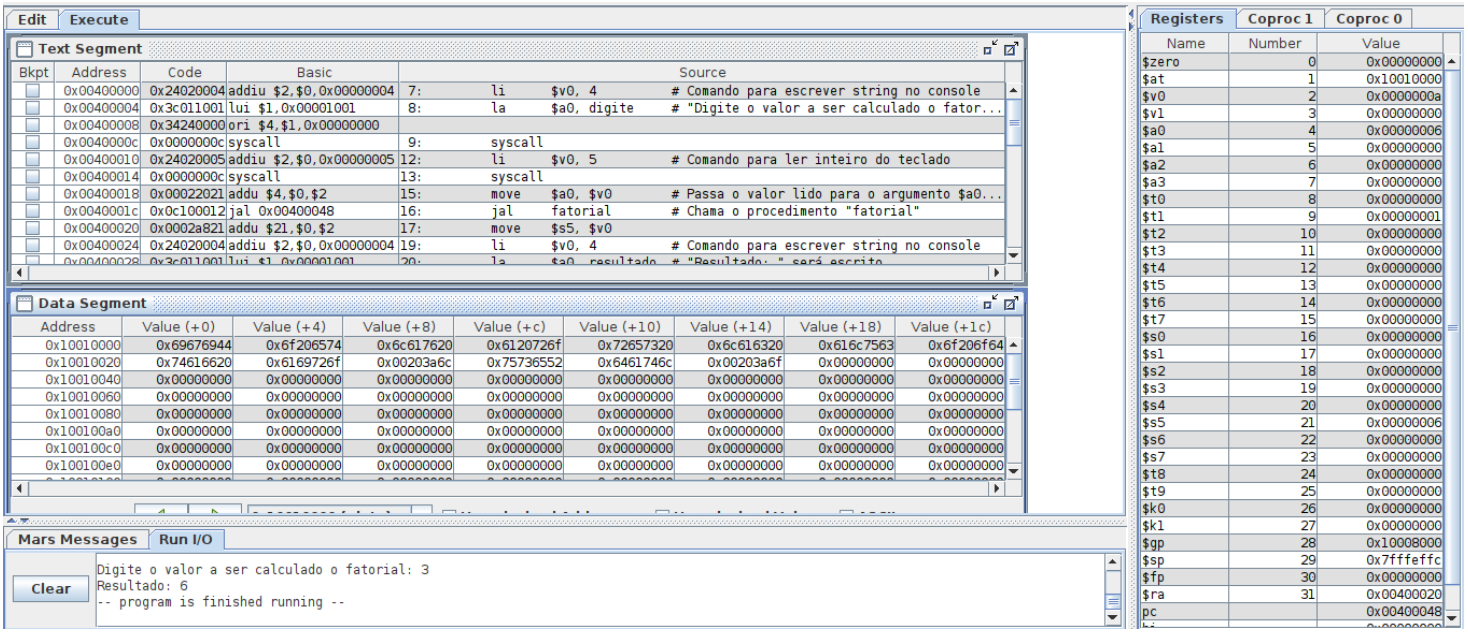


Enfoque no console:

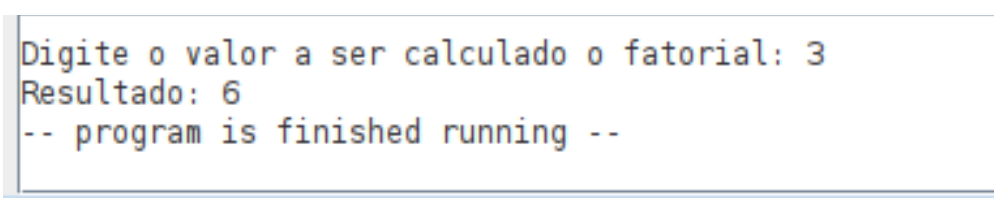


O programa funciona corretamente para o número 2, já que 2! = 2 * 1 = 2

- Fatorial de 3:

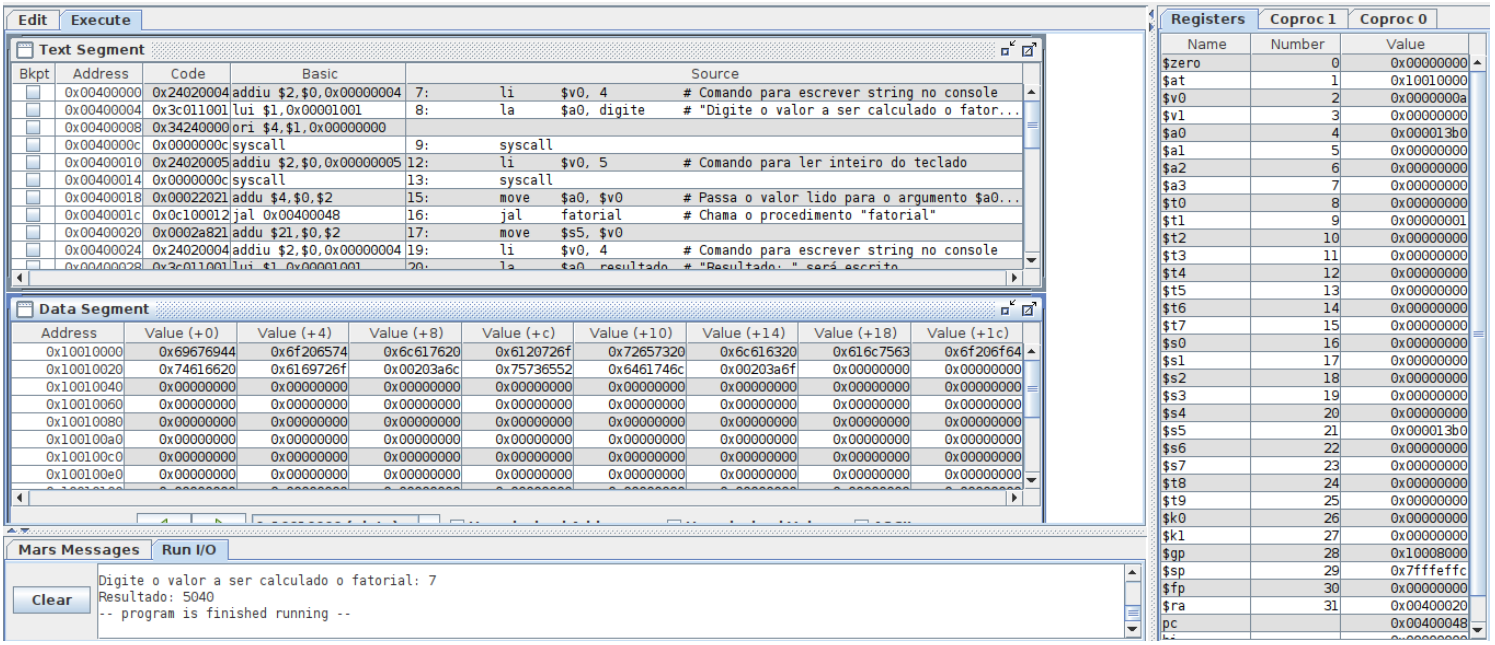


Enfoque no console:

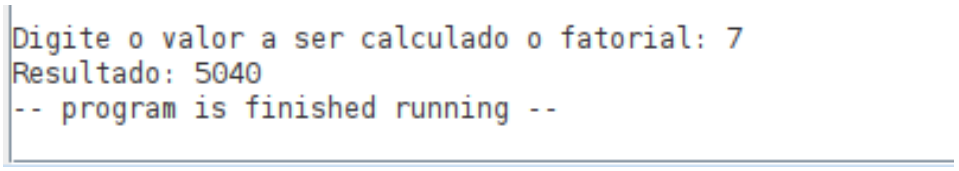


O programa funciona corretamente para o número 3, já que 3! = 3 * 2 * 1 = 6

- Fatorial de 7:

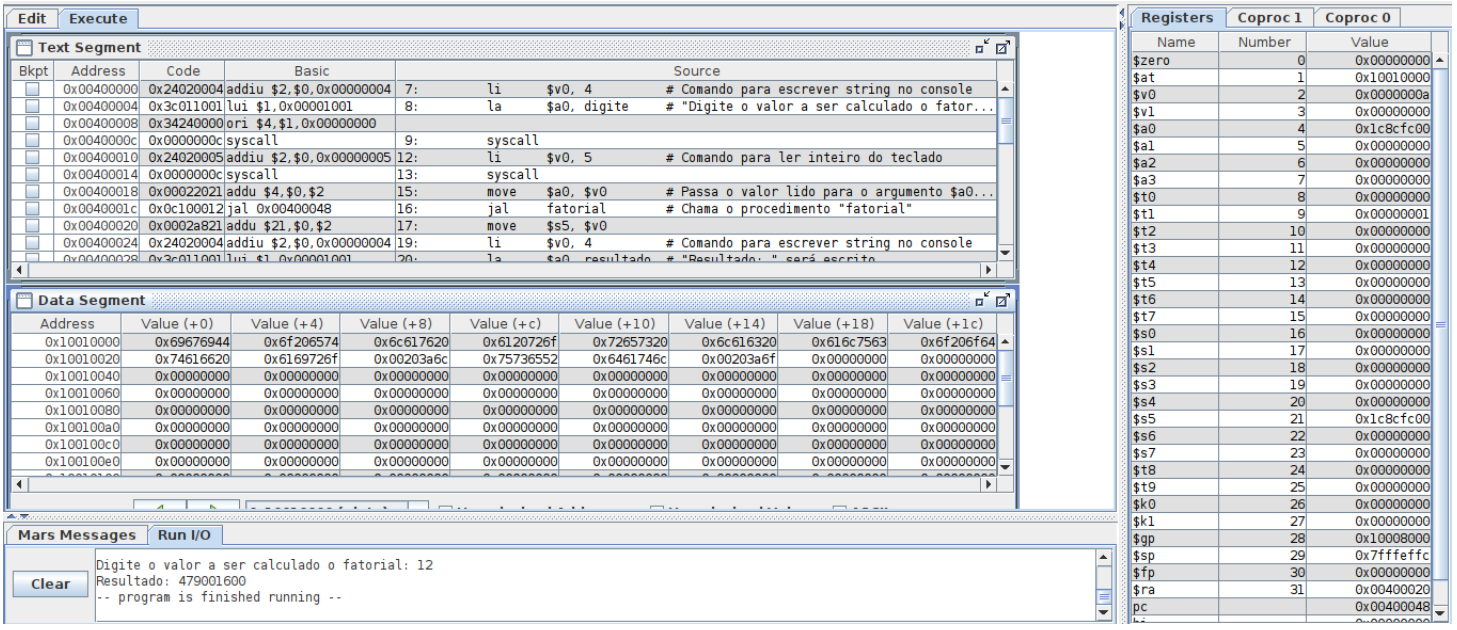


Enfoque no console:

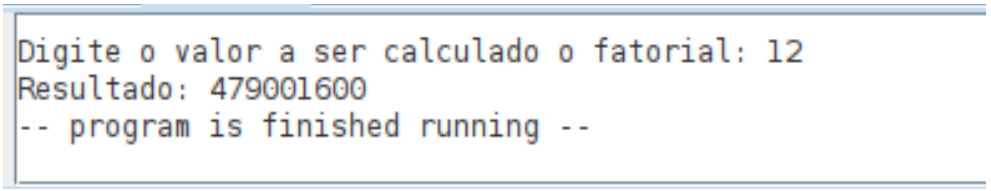


O programa funciona corretamente para o número 7, já que 7! = 7 * 6 * 5 * 4 * 3 * 2 * 1 = 5040

- Fatorial de 12:



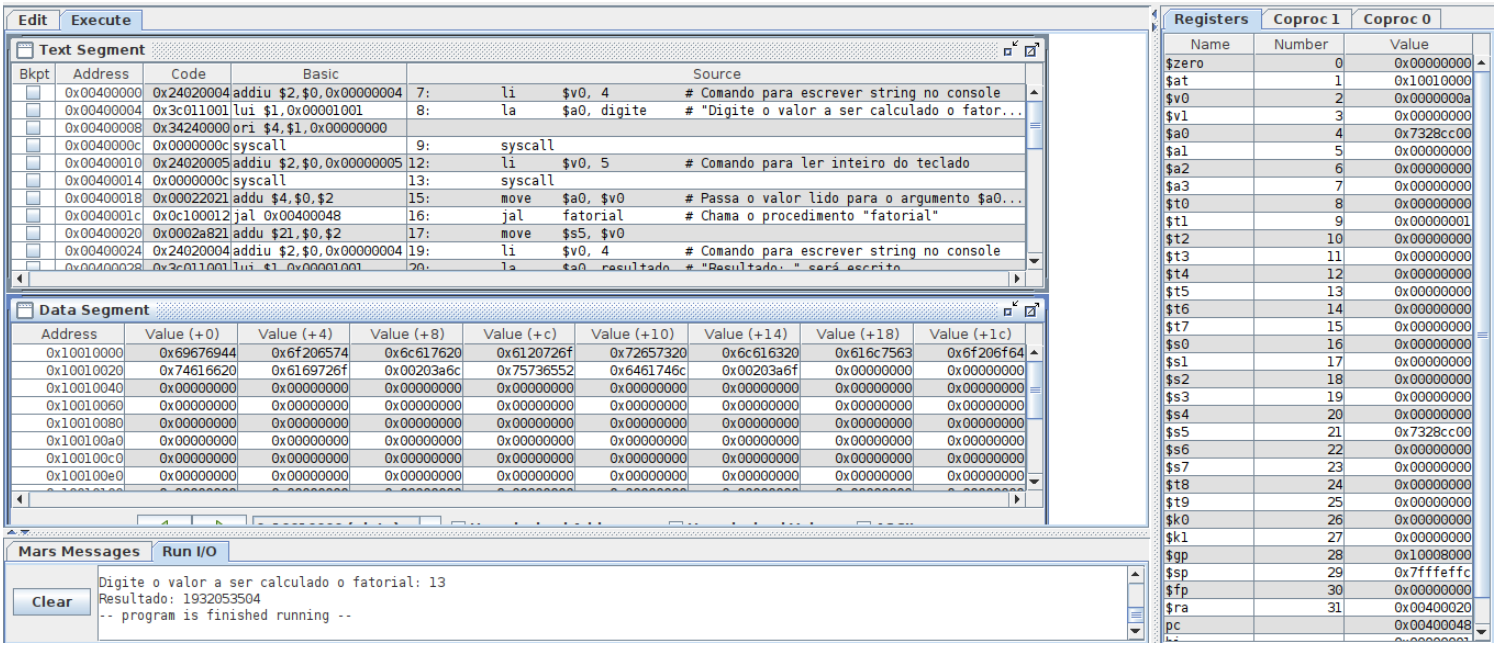
Enfoque no console:



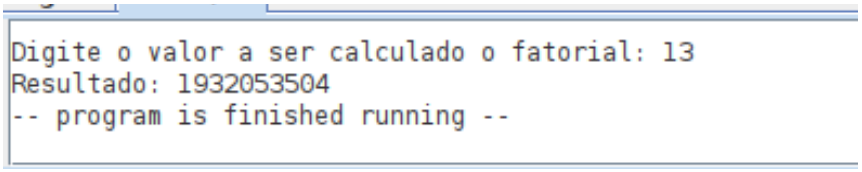
O programa funciona corretamente para o número 12,

já que 12! = 12 * 11 * 10 * 9 * 8 * 7 * 6 * 5 * 4 * 3 * 2 * 1 = 479001600

- Para números iguais ou maiores que 13 o programa não gera o resultado correto pois, assim como na questão 1, os registradores usados no programa tem apenas 32 bits cada e eles não são suficientes para armazenar o resultado. Exemplo: fatorial de 13:



Enfoque no console:



O programa não funciona para esse valor já que 13! = 6227020800

3. Questão 3

3.1 Apresentação da questão

A questão solicita que, para os programas desenvolvidos na questão 1 e na questão 2 , sejam feitas simulações sucessivas, com a variação dos seguintes parâmetros:

- Quantidade de entradas (BHT entries)
- Tamanho da BHT (1 e 2 bits)
- Valor inicial

Tais simulações deveriam ser feitas no simulador de BHT (Branch History Table) disponível no MARs.
Sobre estas simulações, é solicitada uma análise interpretativa dos resultados obtidos com a variação dos parâmetros ,dando enfoque na comparação entre os resultados para os dois diferentes programas. O aluno deveria opinar sobre as diferenças de desempenho, dada determinada condição de teste.

3.2 Resultado das simulações

Conforme requisitado na descrição da questão, foram simulados casos teste de funcionamento e acurácia da BHT modificando os seguintes parâmetros:

- Número de entradas (BHT entries): Variando entre 8, 16 e 32 entradas.
- Número de bits da BHT (n bits BHT): Variando entre 1 e 2 bits
- Valor inicial da branch: TAKE ou NOT TAKE.

Para possibilitar a visualização das implicações da mudança de cada parâmetro em determinado cenário, foram simulados todos os cenários possíveis, com a variação de 1 parâmetro por vez. Para as simulações, foi utilizado o cálculo do fatorial de 12, por ser o maior fatorial possível de ser representado sem overflow em registradores de 32 bits.

O resultados obtidos estão expostos na tabela a seguir:

Parâmetros			Corretos		Incorretos		Precisão	
BHT entries	n bits BHT	Valor inicial	Código 1	Código 2	Código 1	Código 2	Código 1	Código 2
8	1	NOT TAKE	11	10	1	2	91,67	83,33
16	1	NOT TAKE	11	10	1	2	91,67	83,33
32	1	NOT TAKE	11	10	1	2	91,67	83,33
8	2	NOT TAKE	11	9	1	3	91,67	75
16	2	NOT TAKE	11	9	1	3	91,67	75
32	2	NOT TAKE	11	9	1	3	91,67	75
8	1	TAKE	10	11	2	1	83,33	91,67
16	1	TAKE	10	11	2	1	83,33	91,67
32	1	TAKE	10	11	2	1	83,33	91,67
8	2	TAKE	9	11	3	1	75	91,67
16	2	TAKE	9	11	3	1	75	91,67
32	2	TAKE	9	11	3	1	75	91,67

Um resultado notório apontado pelas simulações é a diferença na assertividade entre as predições iniciadas com NOT TAKE e TAKE, para os dois códigos. A predição que tem como valor inicial NOT TAKE tem maior taxa de acertos no código 1 em comparação com o código dois, levando a apenas 1 erro de predição para o primeiro código. Enquanto isso, As predições iniciadas com TAKE tem melhor resultado no código 2 que no código 1, com também apenas 1 erro de predição.

Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que a eficiência da predição está diretamente relacionada à lógica de salto adotada no código.

O código 1, o salto a ser analisado está na seguinte linha:

```
21          bne     $t1, $zero, exit        # Sai do loop se $t1 != 0, ou seja, se $t1 < 2
```

Neste caso, se o salto for tomado, o fatorial para de ser calculado. Ou seja, o salto não deve ser tomado até que o cálculo do fatorial esteja pronto.

Já no código 2, o salto a ser analisado está na seguinte linha:

```
32          beq     $t1, $zero, l1  # Vai para o label "l1" se $a0 >= 2
```

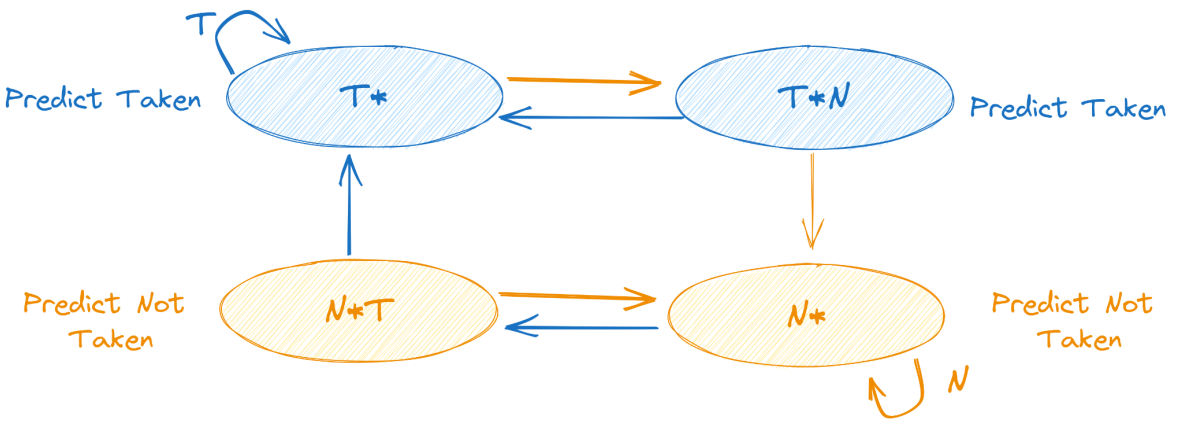
Neste caso, o salto encaminha o programa para o cálculo do fatorial. Ou seja, o salto deve ser tomado enquanto o fatorial não estiver pronto.

Sendo assim, quando iniciamos a predição com NOT TAKE, a predição do salto no código 1 já se inicia corretamente, permanecendo correta até o último salto, que precisa mudar de NOT TAKE para TAKE, gerando o único erro da sequência. Semelhantemente, quando iniciamos a predição do salto do código 2 com TAKE, já a iniciamos com o valor correto, mantendo-se assim até o fim do cálculo, com a mudança de TAKE para NOT TAKE, gerando também o único erro da sequência.

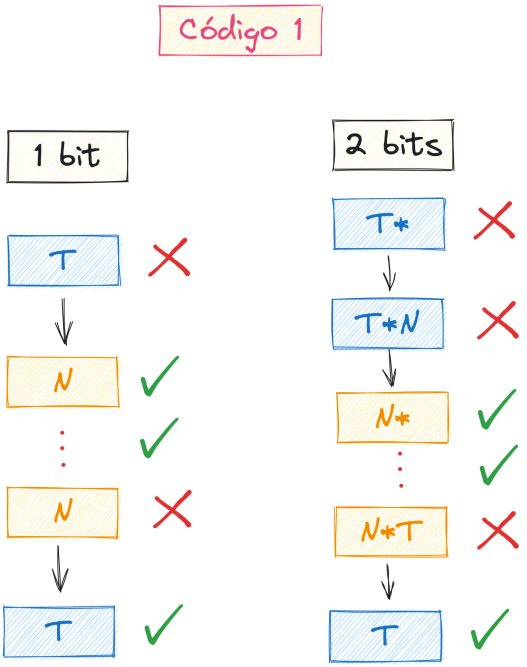
Nestes dois casos, a previsão se mantém constante e ótima (apenas 1 erro de predição) independentemente da mudança dos demais parâmetros da BHT.

Outro ponto a ser observado a respeito dos resultados da simulação, é que a modificação do número de entradas da BHT não gera nenhuma mudança na qualidade da predição. Isso porque, em ambos os códigos, há apenas 1 linha de código com salto condicional a ser previsto. Logo, independentemente do número de entradas disponíveis para uso, apenas 1 entrada será utilizada.

Ademais, nos cenários em que a predição não é favorecida pelo valor correto inicial (já abordado anteriormente), a mudança do parâmetro no número de bits da BHT de 1 para 2 bits tem como consequência uma piora nos resultados.
Para compreender o motivo da modificação do percentual de erro com a mudança no número de bits, realizou-se um estudo das sequências de previsões possíveis. Para explicar isso com exatidão, no caso do preditor com 2 bits, seria necessário saber o tipo de esquema de estados que o simulador MARs utiliza. Como não foi encontrada tal informação no simulador, adotou-se o esquema de estados dos contadores disponível no slide 25 do módulo 12 presente no Moodle. Sendo ele:

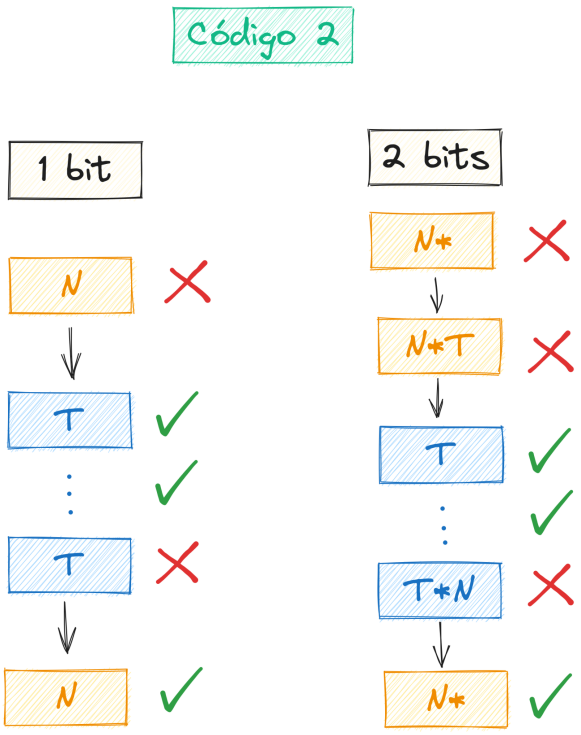


Para o código 1, o número de erros das predições com valor inicial TAKE passa de 2 erros para 3 com a mudança de 1 bit para 2 bits na BHT. O esquema a seguir ilustra a interpretação encontrada para essa mudança:



Como mostrado na imagem, o erro é incrementado por conta do estágio intermediário necessário para a mudança de valor TAKE para NOT TAKE inicialmente.

Já no código 2, a precisão das predições com valor inicial NOT TAKE passa de 2 erros para 3 com a mudança de 1 bit para 2 bits na BHT. O motivo desse aumento pode ser visualizado na seguinte imagem:



Pelo mesmo motivo apresentado para o caso do código 1, o erro é incrementado por conta do estágio intermediário necessário para a mudança de valor NOT TAKE para TAKE inicialmente na sequência de predições.

Com isso, conclui-se que o aumento do número de bits não corresponde a uma melhoria na predição em qualquer caso, já que em ambos os cenários experimentados, o que ocorre é, na verdade, um decréscimo da eficiência da predição.

Por fim, respondendo a pergunta proposta no enunciado do trabalho “Qual das duas implementações você julga ter melhor desempenho? Em que condições?”, a resposta encontrada é: Em relação ao desempenho das predições, este varia, em primeiro lugar, com a determinação apropriada do valor inicial. Em segundo lugar, com a escolha de 1 bit apenas na BHT. Com isso posto, ambos os códigos possuem os mesmos resultados para as condições relativas analisadas, obtendo os mesmos valores nos melhores e piores cenários (pior caso: 3 erros, melhor caso: 1 erro).