

Atividade de Laboratório 6

[Atividade de Laboratório 6](#)

[Objetivo](#)

[Ponto Flutuante](#)

[Atividade](#)

[Infraestrutura](#)

[Entrega](#)

[Dicas e Observações](#)

Objetivo

O objetivo desta atividade é exercitar o uso de instruções aritméticas inteiras e reais e a manipulação de entrada e saída utilizando o conjunto de instruções da arquitetura RISC-V.

Ponto Flutuante

Para expressar computacionalmente números com parte fracionária a maneira mais comum é utilizar a representação chamada ponto flutuante (PF). O padrão IEEE754 é um dos mais utilizados, definindo uma representação binária para valores com ponto-flutuante de utilizando 3 campos: sinal, expoente e mantissa. A quantidade de bits designado a cada campo depende da precisão (simples ou dupla).

Dada uma palavra de 32-bits, a representação de ponto flutuante de precisão simples é mostrada na figura abaixo, com os seguintes campos:

- 1 bit para o sinal (S). 0 para números positivos e 1 para negativos (bit 31)
- 8 bits o expoente (E) (bits 30 a 23)
- 23 bits para mantissa (M) (bits 22 a 0)



O valor decimal do número em ponto flutuante pode ser calculado de acordo com a equação 1, onde b_n é o n-ésimo bit da palavra:

$$N = (-1)^S * 2^{E-127} * (1 + \sum_{i=1}^{23} b_{23-i} * 2^{-i}) \quad (1)$$

Por exemplo, o valor $0x40490FDB_{16}$ possui a seguinte representação binária: $010000001001001000011111011011_2$, que possui os seguintes valores nos campos da representação de ponto-flutuante: $S=0_{10}$, $E=128_{10}$, e $M=4788187_{10}$. Se utilizarmos esses valores na equação 1, temos (termos onde b_n é 0 não são considerados no somatório):

$$1^0 * 2^{128-127} * (1 + 2^{-1} + 2^{-4} + 2^{-7} + 2^{-12} + 2^{-13} + 2^{-14} \dots) = 3.141592741_{10}$$

No caso do RISC-V há instruções específicas a nível de *hardware* para realizar operações lógicas e aritméticas utilizando ponto flutuante, utilizando a extensão de ponto-flutuante (Extensão F). Para tanto, o RISC-V possui 32 registradores de 32 *bits* para trabalhar com pontos flutuantes (*f0–f31*) separados do banco de registradores inteiros comuns (*x0–x31*). As operações lógicas e aritméticas devem ser realizadas utilizando estes registradores e são muito semelhantes (sintaticamente) as operações inteiras. Algumas delas são mostradas abaixo:

Instrução	Operação realizada
<code>fadd.s f_rd, f_rs1, f_rs2</code>	Adiciona o valor do registrador de PF <i>f_rs1</i> a <i>f_rs2</i> e coloca o resultado no registrador PF <i>f_rd</i> (i.e., $f_rd = f_rs1 + f_rs2$)
<code>fsub.s f_rd, f_rs1, f_rs2</code>	Subtrai o valor do registrador de PF <i>f_rs2</i> de <i>f_rs1</i> e coloca o resultado no registrador PF <i>f_rd</i> (i.e., $f_rd = f_rs1 - f_rs2$)
<code>fmul.s f_rd, f_rs1, f_rs2</code>	Multiplica o valor do registrador de PF <i>f_rs1</i> por <i>f_rs2</i> e coloca o resultado no registrador PF <i>f_rd</i> (i.e., $f_rd = f_rs1 * f_rs2$)
<code>fdiv.s f_rd, f_rs1, f_rs2</code>	Divide o valor do registrador de PF <i>f_rs1</i> por <i>f_rs2</i> e coloca o resultado no registrador PF <i>f_rd</i> (i.e., $f_rd = f_rs1 / f_rs2$)
<code>fcvt.s.w f_rd, rs</code>	Converte um valor inteiro com sinal (no registrador <i>rs</i>) para sua representação em ponto-flutuante e coloca o resultado no registrador de PF <i>f_rd</i>
<code>fcvt.w.s rd, f_rs</code>	Converte um valor de PF (do registrador <i>f_rs</i>) para um inteiro e coloca o resultado em <i>rd</i> . Nota: Apenas a parte inteira é convertida e o valor é arredondado ao inteiro mais próximo
<code>flw f_rd, offset(rs)</code>	Carrega o valor de PF da memória, no endereço indicado por <code>offset(rs)</code> e coloca no registrador de PF <i>f_rd</i>
<code>fsw f_rs, offset(rd)</code>	Salva o valor de PF do registrador <i>f_rs</i> para a memória, no endereço indicado por <code>offset(rd)</code>

O código de exemplo abaixo mostra o como pode ser realizado o cálculo da conversão de um ângulo *x*, em graus, para radianos, utilizando a equação 2.

$$x = \frac{x * \pi}{180} \quad (2)$$

```

.text
# Carrega o inteiro 45 para o registrador a0
li a0, 45
# Converte o inteiro 45 para representação em ponto flutuante e
# coloca no registrador fa0 (45.0)
fcvt.s.w fa0, a0
# Carrega o endereço contendo o valor de pi
la a0, .float_pi
# Carrega a palavra contida no endereço de a0 para o registrador fal
flw fal, 0(a0)
# Multiplica 45 por 3.1415 e armazena o resultado em fa0
fmul.s fa0, fa0, fal
# Carrega o valor inteiro 180 para o registrador a0
li a0, 180
# Converte o inteiro 180 para PF e coloca no registrador fal (180.0)
fcvt.s.w fal, a0
# Divide 45*pi por 180 e armazena o resultado em fa0
fdiv.s fa0, fa0, fal

.align 4
.data
.float_pi:
    # Valor de pi (3.1415...) na representação de ponto-flutuante
    .word 0x40490fdb

```

Atividade

Neste laboratório, você deve fazer um programa que calcula uma aproximação para a função seno(x) utilizando a Série de Taylor, e imprimir o resultado na saída, utilizando como base o arquivo disponível em [modelo.s](#).

Uma série de Taylor é uma representação aproximada de uma função como uma soma infinita de termos que são calculados a partir dos valores das derivadas da função em um único ponto. Uma aproximação para a função seno(x) pode ser obtida com a equação 3, dado um real x representando um ângulo, em radianos.

$$\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)!} * x^{2n+1} = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots \quad \forall x \quad (3)$$

Para isso você deverá modificar o arquivo [modelo.s](#) deve ser alterado em dois pontos:

- No trecho ***** INSIRA AQUI SEU CÓDIGO PARA CÁLCULO DA SERIE ***** (linha 27) você deve implementar a série de taylor com aproximação de 10 elementos, isto é, n=10 para a equação 3. No início do trecho onde o código deve ser inserido, o valor de x (em radianos) já estará no registrador de PF `f0`. Sua série deve deixar o valor final do somatório no registrador `f0`.

- No trecho **** INSIRA AQUI SEU CÓDIGO PARA IMPRESSÃO **** (linha 47) você deve inserir um código para imprimir o valor resultante da série na tela. No ponto onde o seu código será inserido, você já receberá três valores inteiros, vindos nos registradores `a0`, `a1` e `a2`, sendo que:
 - `a0` conterá o valor zero, indicando que o número resultante da série é positivo e diferente de zero caso seja negativo.
 - `a1` conterá um número inteiro representando parte inteira do número resultante da série;
 - `a2` conterá um número inteiro representando parte fracionária do número resultante da série, truncada na 3ª casa decimal (inteiro de 0 a 999).

Por exemplo, se o número resultante da soma (em `f0`) for 3.141592, os registradores terão os seguintes valores inteiros nesta parte do código `a0=0`, `a1=3`, `a2=141`. Se o número resultante da soma (em `f0`) for 0.017, os registradores terão os seguintes valores inteiros nesta parte do código `a0=0`, `a1=0`, `a2=17`.

O resultado final deve ser impresso na tela com a seguinte formatação, com letras maiúsculas e um espaço após “SENO:”:

```
SENO: [+|-][1 CARACTERE PARTE INT].[3 CARACTERES PARTE FRAC]\n
```

Por exemplo, dado que o ângulo de entrada para o seu programa é 45, após realizar a soma a saída deve ser:

```
SENO: +0.707
```

Ou, dado que o ângulo é 359, a saída deve ser:

```
SENO: -0.017
```

Infraestrutura

ATENÇÃO: Para depurar seu código no simulador, utilize o navegador do Google Chrome, a depuração pode não funcionar em outros navegadores.

Para montar seu código em linguagem de montagem, use o comando:

```
clang -g -O0 --target=riscv32 -march=rv32gc -mabi=ilp32d
-mno-relax arquivo_de_entrada.s -c -o arquivo_de_saida.o
```

Note o parâmetro na ferramenta clang: `--target=riscv32 -march=rv32gc -mabi=ilp32d`. Esse parâmetro indica que queremos que seja gerado um objeto que não é da arquitetura do seu computador (provavelmente `x86_64`) mas sim para RISC-V de 32 bits. Após essa etapa, tendo o arquivo objeto em mãos, podemos executar o ligador (*linker*) através do seguinte comando:

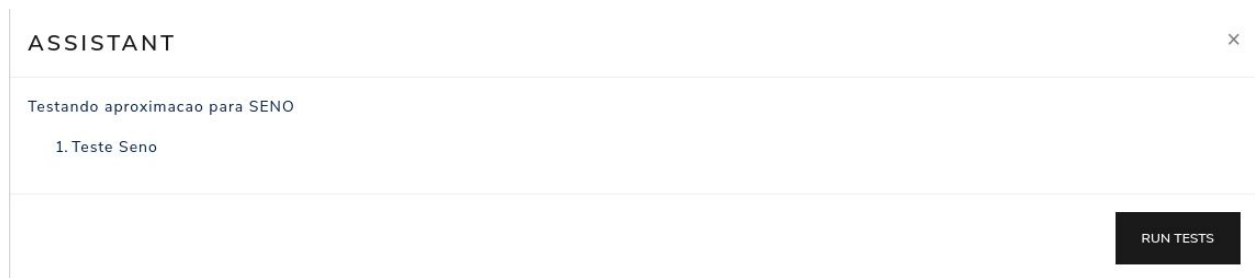
```
ld.lld -g arquivo_de_saida.o -o executavel.x
```

Testando seu lab

Do lado direito do simulador há um pequeno olho preto que abre o sistema de testes do laboratório:



Ao clicar nele irá ser aberto uma janela com a opção de executar os testes no código que você fez upload:



Entrega

Você deve submeter APENAS um arquivo denominado raXXXXXX.s (em que XXXXXX é seu RA com 6 dígitos) que contenha o código do modelo base com suas modificações, em linguagem de montagem.

Dicas e Observações

- Os trechos de código antecessores e sucessores ao que deve ser inserido **não deve ser modificado**. O arquivo de modelo deve ser submetido juntamente com suas alterações.
- Cada linha deve ser finalizada com o caractere ‘\n’ e deve haver um espaço após a palavra SENO.
- Linhas que não tenham um ‘\n’ no final não serão mostradas no simulador.

- O valor de entrada para o ângulo é um inteiro variando de 0 a 360. Durante os testes o valor do ângulo será inserido no endereço denominado pelo label `angle`.
- Não modifique os valores das variáveis na seção `.data`. Entretanto, você pode inserir mais variáveis nesta seção caso necessário.
- O resultado deverá ter um erro aproximado máximo de $1e3$ (0.001). Por exemplo, para o valor 1.0: $0.999 \approx 1.0 \approx 1.001$
- Você pode verificar o estado dos registradores de ponto flutuante no simulador, quando executando seu programa em modo de depuração, com o seguinte comando:
`peek f 0`, onde 0 é o número do registrador de PF (0 a 31). O valor exibido em hexadecimal é o valor na representação de PF e sua representação decimal pode ser obtida através da equação 1.
- Preste atenção no tipo dos registradores que você utiliza para fazer os cálculos em seu programa, a fórmula (3) apresenta termos de rápido crescimento, como $(2n+1)!$, que podem não ser representável em registradores inteiros de 32 bits.
- Para realizar a impressão neste laboratório você deverá utilizar a `syscall 64`, já utilizada no laboratório 5.
- Para imprimir um valor que está em um registrador, será primeiro necessário converter cada dígito do valor para sua representação Ascii, e depois guardar os valores em ascii na memória.
- Para executar seu código até um determinado rótulo, podemos realizar o seguinte o processo na seção de Debug do simulador:
 - Verifique o endereço do rótulo desejado na lista de símbolos para isso use o seguinte comando:
 - `symbols`
 - Agora que temos o endereço do rótulo desejado, podemos executar o programa até o ponto do rótulo com o seguinte comando:
 - `Until <endereço>`