PODER EXECUTIVO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ARQUITETURA E ORGANIZAÇÃO DE COMPUTADORES

RELATÓRIO DO PROJETO: PROCESSADOR EK

ALUNOS:
Eduardo Henrique Freire Machado - 2020001617
Kelvin Araújo Ferreira - 2019037653

Março de 2022
Boa Vista/Roraima

PODER EXECUTIVO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ARQUITETURA E ORGANIZAÇÃO DE COMPUTADORES

RELATÓRIO DO PROJETO: PROCESSADOR EK

Março de 2022
Boa Vista/Roraima

Resumo

Este trabalho aborda o projeto e implementação de um processador EK, utilizando do software Quartus Prime, da linguagem Assembly MIPS e da linguagem VHDL (Very High-Speed Integration Circuit HDL). O processador em questão é um RISC (Reduced Instruction Set Computer) de 8 bits.

O relatório então servirá de instrumento de avaliação dos alunos para a disciplina de AOC (Arquitetura e Organização de Computadores), ministrada pelo professor Herbert Oliveira Rocha.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1. Especificação

Nesta seção é apresentado o conjunto de itens para o desenvolvimento do processador EK, bem como a descrição detalhada de cada etapa da construção do processador.

1.1. Plataforma de Desenvolvimento

Para a implementacação do processador EK foi utilizada a IDE *Quartus Prime*:

Figura 1 – Especificações no *Quartus Prime*

Flow Status	Successful - Wed Mar 09 08:56:50 2022
Quartus Prime Version	20.1.1 Build 720 11/11/2020 SJ Lite Edition
Revision Name	CPU_EK
Top-level Entity Name	CPU_EK
Family	Arria II GX
Logic utilization	< 1 %
Total registers	40
Total pins	70 / 176 (40 %)
Total virtual pins	0
Total block memory bits	32 / 2,939,904 (< 1 %)
DSP block 18-bit elements	0 / 232 (0 %)
Total GXB Receiver Channel PCS	0 / 4 (0 %)
Total GXB Receiver Channel PMA	0 / 4 (0 %)
Total GXB Transmitter Channel PCS	0 / 4 (0 %)
Total GXB Transmitter Channel PMA	0 / 4 (0 %)
Total PLLs	0 / 4 (0 %)
Total DLLs	0 / 2 (0 %)
Device	EP2AGX45CU17I3
Timing Models	Final

Fonte: Elaborada pelos autores.

1.2. Conjunto de Instruções

O processador EK possui 2 registradores: $s0 e $s1. Assim como 11 formatos de instruções de 8 bits cada, instruções do tipo R, I e J. Seguem algumas considerações sobre as estruturas contidas nas instruções:

- Opcode: indica ao processador qual a instrução a ser executada;

- Reg1: o registrador contendo o primeiro operando fonte e adicionalmente para alguns tipos de instruções (ex. Instruções do tipo R) é o registrador de destino;
- Reg2: o registrador contendo o segundo operando fonte.

Tipos de Instruções:

- Tipo R: Este tipo de instrução trata de operações aritméticas.
  - Formato para escrita de código na linguagem MIPS:

Opcode	rs	rt

  - Formato para escrita em código binário:

Instrução do tipo R		
Opcode	rs	rt
4bits	2bits	2bits
7-4	3-2	1-0

- Tipo I: Este tipo de instrução aborda carregamentos diretos na memória.
  - Formato para escrita de código na linguagem MIPS:

Opcode	rs	Imediato

  - Formato para escrita em código binário:

Instrução do tipo I		
Opcode	rs	Imediato
4bits	2bits	2bits
7-4	3-2	1-0

- Tipo J: Este tipo de instrução é responsável por desvios condicionais e incondicionais.
  - Formato para escrita de código na linguagem MIPS:

Opcode	Endereço

  - Formato para escrita em código binário:

Instrução do tipo J	
Opcode	Endereço
4bits	4bits

7-4	3-0

Visão geral das instruções do Processador EK:

O número de bits do campo Opcode das instruções é igual a quatro, sendo assim obtemos um total de 16 Opcodes (0-15) que são distribuídos entre as instruções, assim como é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Opcodes suportados pelo Processador EK

Opcode	Sintaxe	Formato	Significado	Exemplos
0000	add	R	Soma	**add** $s0, $s1
0001	addi	I	Soma Imediata	**addi** $s0, 3
0010	sub	R	Subtração	**sub** $s0, $s1
0011	subi	I	Subtração Imediata	**subi** $s0, 6
0100	lw	I	Load Word	**lw** $s0 ram (00)
0101	sw	I	Store Word	**sw** $s0 ram (00)
0110	li	I	Load Imediato	**li** $s0 2
0111	beq	J	Branch Equal	**beq** endereço
1000	if	J	If Equal	**If** $s0 $s1
1001	J	J	Jump	**j** endereço (0000)

Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3. Descrição do Hardware

Nesta seção são descritos os componentes do hardware que compõem o processador EK, incluindo uma descrição de suas funcionalidades, valores de entrada e saída.

1.3.1. ALU

O componente ALU (Unidade Lógica Aritmética) tem como principal objetivo efetuar as principais operações aritméticas (considerando apenas resultados inteiros), dentre elas: soma e subtração. Adicionalmente, ela efetua operações de comparação de valor como BEQ.

O componente ALU recebe como entrada quatro valores:

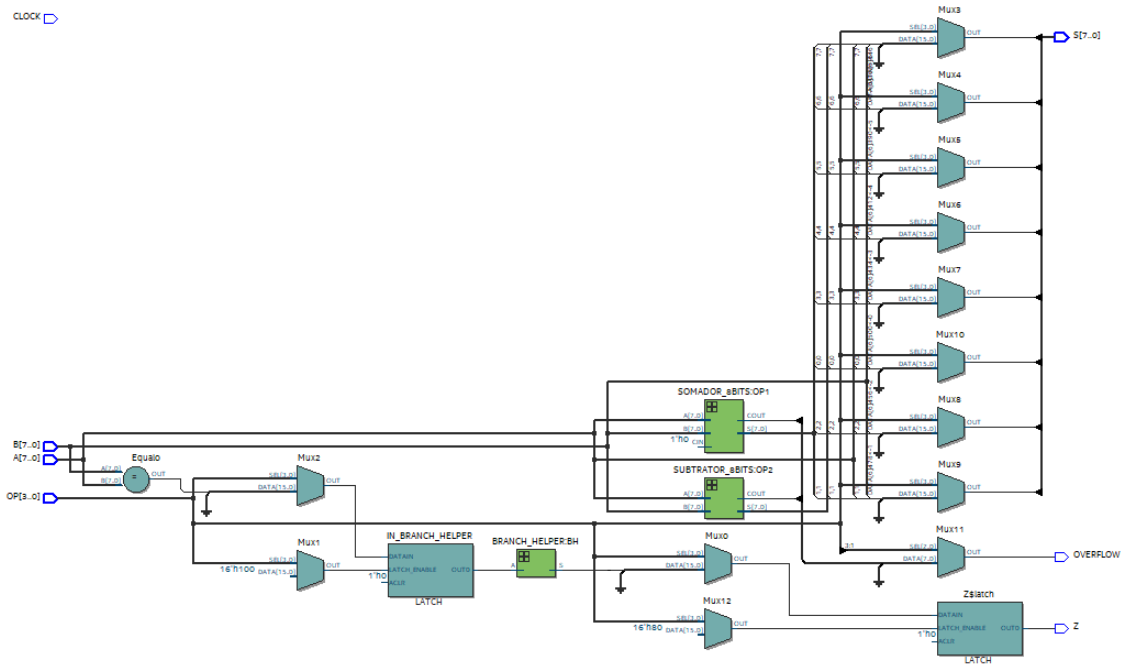
- CLOCK: dado de 1 bit;
- A e B: dados de 1 byte;

- OP: opcode de 4 bits.

A ALU possui três saídas:

- S: resultado de 1 byte;
- Z: resultado de 1 bit para verificar se o valor retornado é zero;
- OVERFLOW: resultado de 1 bit para verificar se a operação resulta num overflow.

Figura 2 – RTL Viewer da ALU



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.2. BANCO_REGISTRADORES

O componente BANCO_REGISTRADORES tem como principal objetivo escrever, ler e armazenar valores nos registradores.

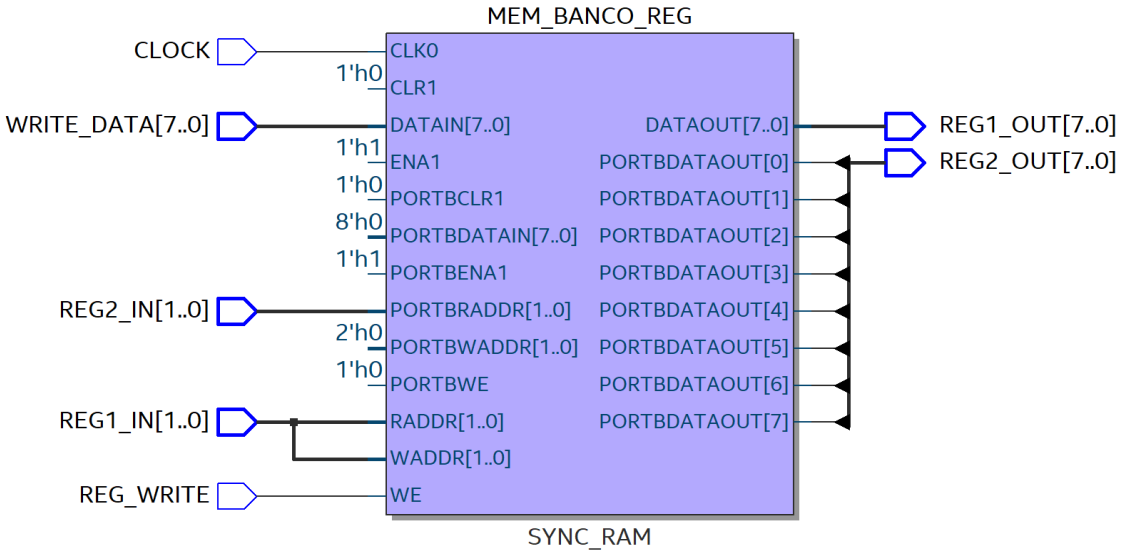
O componente BANCO_REGISTRADORES recebe como entrada quatro valores:

- CLOCK: dado de 1 bit;
- REG_WRITE: dado de 1 bit que indica se há escrita em registradores;
- REG1_IN e REG2_IN: dados de dois bits que indicam sobre quais registradores devem ser executados as operações;
- WRITE_DATA: dado de 1 byte a ser escrito em registrador.

O componente BANCO_REGISTRADORES tem duas saídas:

- REG1_OUT e REG2_OUT: dados de 1 byte armazenados nos registradores.

Figura 3 – RTL Viewer do BANCO_REGISTRADORES



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.3. CONTADOR_SINCRONO

O componente CONTADOR_SINCRONO tem como objetivo somar 1 ao PC, avançando assim para a próxima linha de código do programa na memória ROM.

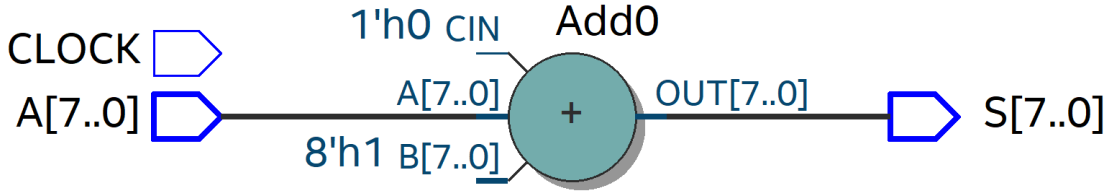
O componente CONTADOR_SINCRONO recebe como entrada dois valores:

- CLOCK: dado de 1 bit;
- A: dado de 1 byte equivalente ao endereço no PC.

O componente CONTADOR_SINCRONO tem como saída o valor:

- S: PC + 1.

Figura 4 – RTL Viewer do CONTADOR_SINCRONO



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.4. DIV_INSTRUCAO

O componente DIV_INSTRUCAO divide a instrução recebida em 4 trilhas, que são utilizadas para definir qual o tipo de instrução a ser executado e quais seus operandos.

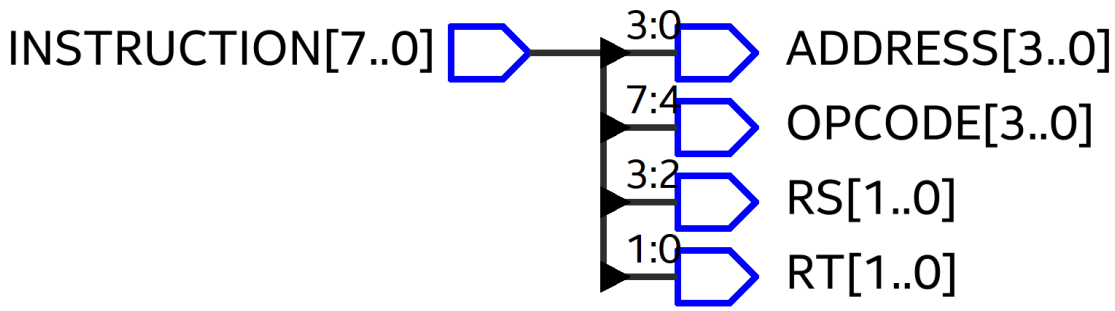
O componente DIV_INSTRUCAO recebe como entrada:

- INSTRUCTION: dado de 1 byte com a instrução.

O componente DIV_INSTRUCAO tem como saída:

- ADDRESS: dado de 4 bits com endereço;
- OPCODE: dado de 4 bits com o opcode;
- RS: dado de 2 bits com o primeiro operando;
- RT: dado de 2 bits com o segundo operando.

Figura 5 – RTL Viewer do DIV_INSTRUCAO



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.5. EXTENSOR_2X8

O componente EXTENSOR_2X8 extende um sinal de 2 bits para um de 1 byte.

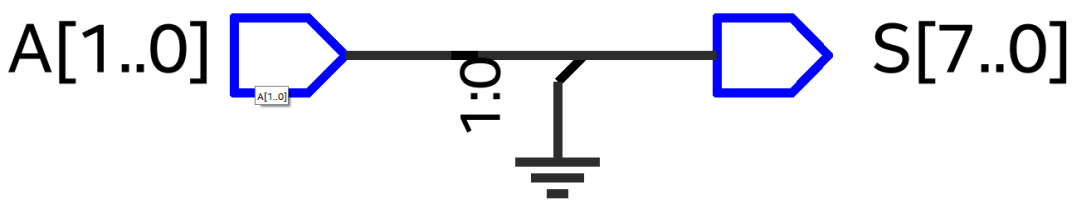
O componente EXTENSOR_2X8 recebe como entrada:

- A: dado de 2 bits a ser extendido.

O componente EXTENSOR_2X8 tem como saída:

- S: dado de 1 byte extendido.

Figura 6 – RTL Viewer do EXTENSOR_2X8



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.6. EXTENSOR_4X8

O componente EXTENSOR_4X8 extende um sinal de 4 bits para um de 1 byte.

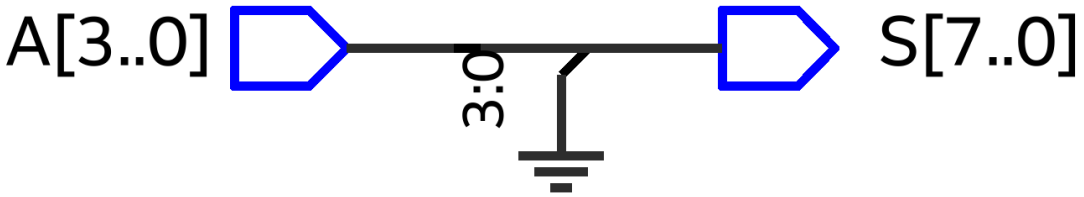
O componente EXTENSOR_4X8 recebe como entrada:

- A: dado de 4 bits a ser extendido.

O componente EXTENSOR_4X8 tem como saída:

- S: dado de 1 byte extendido.

Figura 7 – RTL Viewer do EXTENSOR_4X8



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.7. MUX_2X1

O componente MUX_2X1 seleciona um entre dois dados de 1 byte com base num seletor.

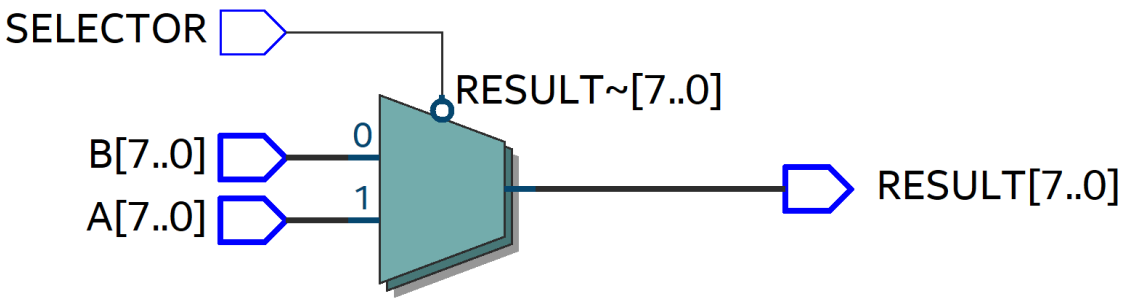
O componente MUX_2X1 recebe como entrada:

- A e B: dados de 1 byte;
- SELECTOR: dado de 1 bit.

O componente MUX_2X1 tem como saída:

- RESULT: dado de 1 byte que foi selecionado.

Figura 8 – RTL Viewer do MUX_2X1



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.8. PC

O componente PC é responsável por passar a linha de código do programa que deve ser executada.

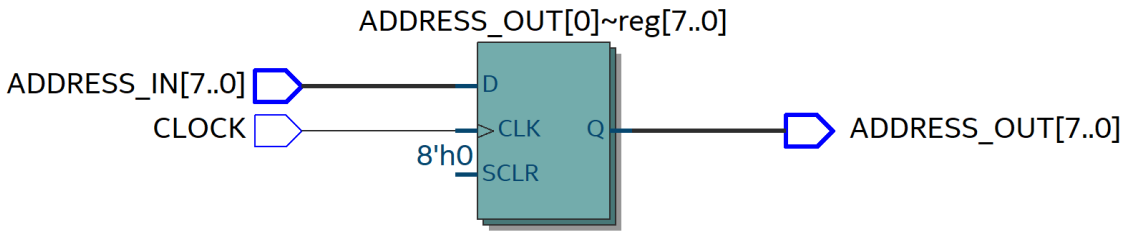
O componente PC recebe como entrada:

- CLOCK: dado de 1 bit;
- ADDRESS_IN: dado de 1 byte com a linha atualizada.

O componente PC tem como saída:

- ADDRESS_OUT: dado de 1 byte com a linha atual.

Figura 9 – RTL Viewer do PC



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.9. RAM

O componente RAM é responsável por armazenar e ler até 8 dados de 1 byte por meio de instruções load e store.

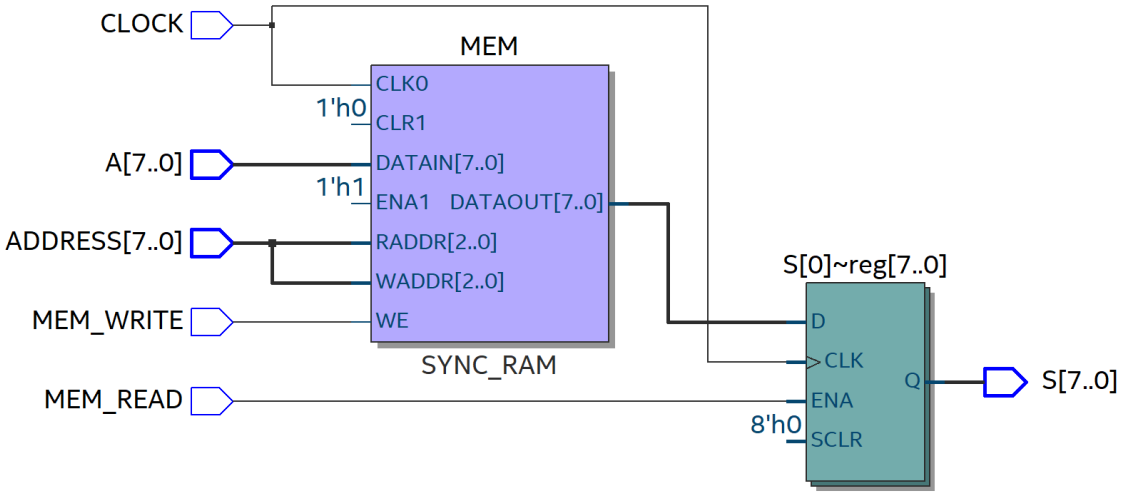
O componente RAM recebe como entrada:

- CLOCK: dado de 1 bit;
- A: dado de 1 byte a ser escrito;
- ADDRESS: dado de 1 byte com endereço;
- MEM_WRITE: dado de 1 bit que serve como flag;
- MEM_READ: dado de 1 bit que serve como flag.

O componente RAM tem como saída:

- S: dado de 1 byte com o resultado.

Figura 10 – RTL Viewer da RAM



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.10. ROM

O componente ROM é responsável por armazenar o programa, com até 256 linhas de código.

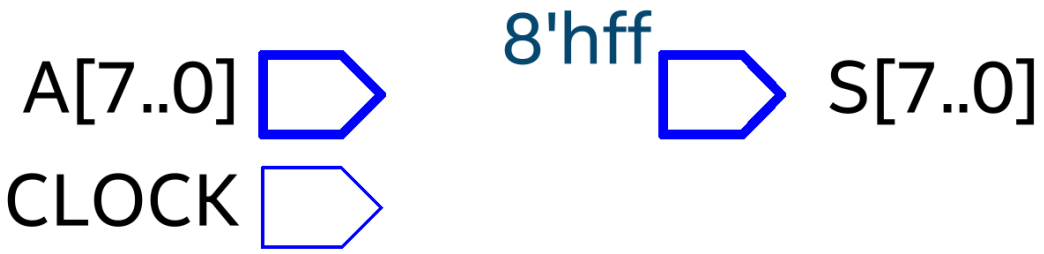
O componente ROM recebe como entrada:

- CLOCK: dado de 1 bit;
- A: dado de 1 byte com o endereço da linha a ser lida.

O componente ROM tem como saída:

- S: dado de 1 byte armazenado naquela linha.

Figura 11 – RTL Viewer da ROM



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.11. SOMADOR_8BITS

O componente SOMADOR_8BITS tem como principal objetivo efetuar operações de soma entre dois dados de 1 byte.

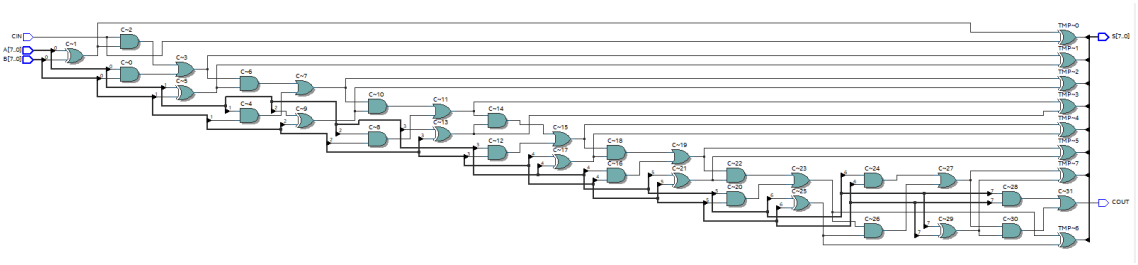
O componente SOMADOR_8BITS recebe como entrada:

- A e B: dados de 1 byte com valores a serem somados;
- CIN: dado de 1 byte com o *carry in*.

O componente SOMADOR_8BITS tem como saída:

- S: dado de 1 byte com o resultado;
- COUT: dado de 1 bit com o *carry out.*

Figura 12 – RTL Viewer do SOMADOR_8BITS



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.12. SUBTRATOR_8BITS

O componente SUBTRATOR_8BITS tem como principal objetivo efetuar operações de subtração entre dois dados de 1 byte.

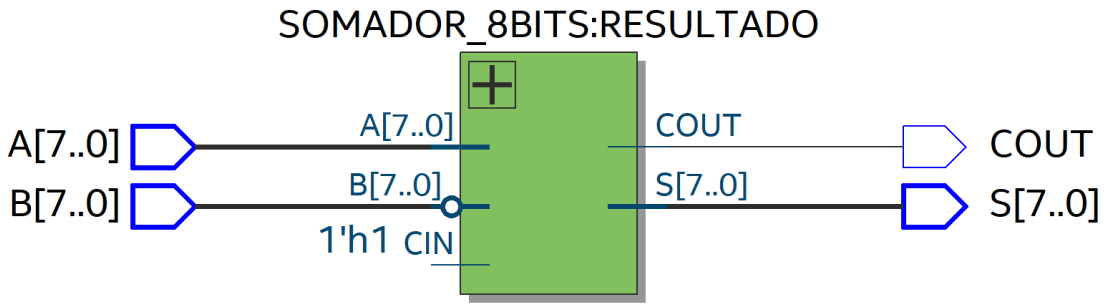
O componente SUBTRATOR_8BITS recebe como entrada:

- A e B: dados de 1 byte com valores a se subtrair;

O componente SUBTRATOR_8BITS tem como saída:

- S: dado de 1 byte com o resultado;
- COUT: dado de 1 bit com o *carry out.*

Figura 13 – RTL Viewer do SUBTRATOR_8BITS



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3.13. UNIDADE_DE_CONTROLE

O componente UNIDADE_DE_CONTROLE tem como principal objetivo administrar as flags necessárias para cada tipo de instrução.

O componente UNIDADE_DE_CONTROLE recebe como entrada:

- CLOCK: dado de 1 bit;
- OPCODE: dado de 3 bits, indicando a operação a ser realizada;

O componente UNIDADE_DE_CONTROLE tem como saída:

- JUMP: dado de 1 bit que serve de flag se há uma operação do tipo jump;
- BRANCH: dado de 1 bit que serve de flag se há uma operação característica de instrução tipo J;
- MEMREAD: dado de 1 bit que server de flag se há leitura de memória;
- MEMTOREG: dado de 1 bit que serve de flag se há escrita de um dado da memória num registrador;
- ALUOP: dado de 3 bits que indica a operação a ser realizada na ALU;
- MEMWRITE: dado de 1 bit que serve de flag se há escrita na memória;
- ALUSRC: dado de 1 bit que serve de flag se há necessidade de executar operação com registrador ou imediato;
- REGWRITE: dado de 1 bit que serve de flag se há escrita de dados no banco de registradores.

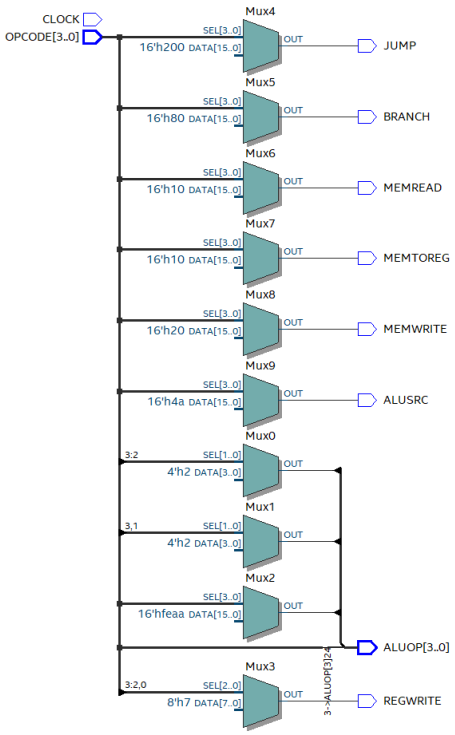
Tabela 2 – Relações entre OPCODES e flags na UNIDADE_DE_CONTROLE

OPCODE	JUMP	BRANCH	MEMREAD	MEMTOREG	ALUOP	MEMWRITE	ALUSRC	REGWRITE
0000	0	0	0	0	0	0	0	1
0001	0	0	0	0	0	0	1	1
0010	0	0	0	0	0	0	0	1
0011	0	0	0	0	0	0	1	1
0100	0	0	1	1	0	0	0	1
0101	0	0	0	0	0	1	0	0
0110	0	0	0	0	0	0	1	1
0111	0	1	0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0	0

1001	1	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborada pelos autores.

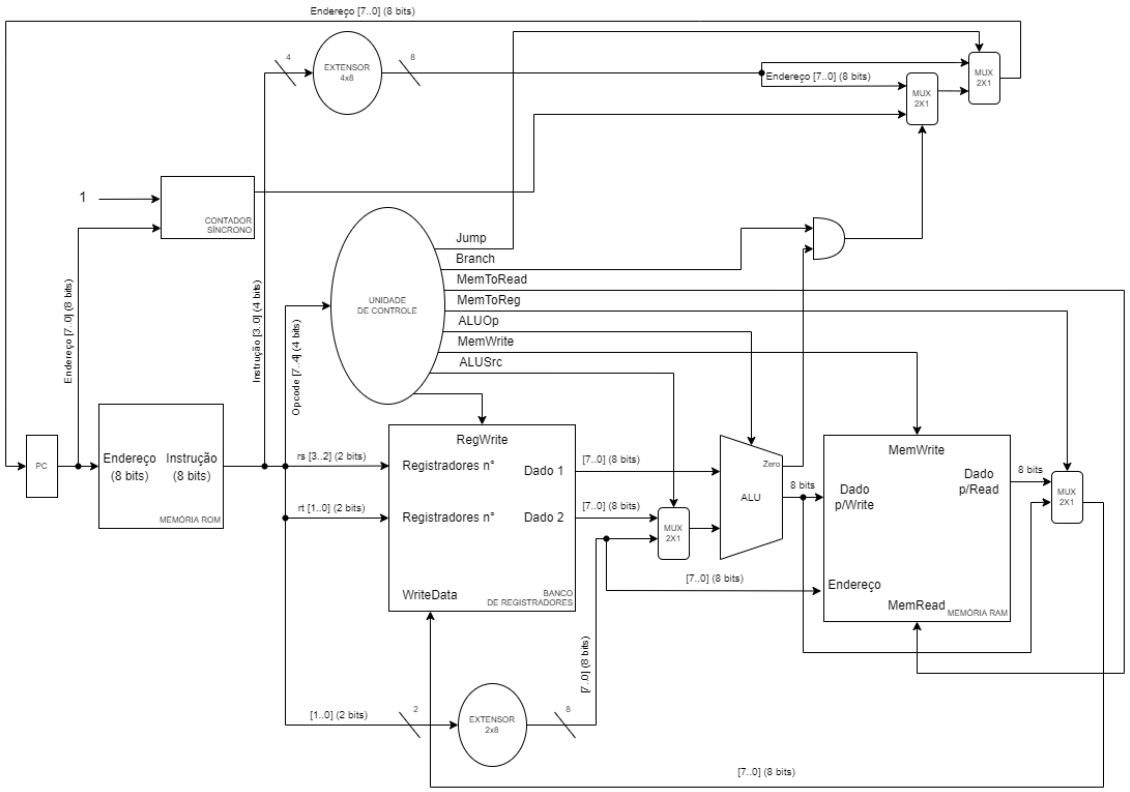
Figura 14 – RTL Viewer da UNIDADE_DE_CONTROLE



Fonte: Elaborada pelos autores.

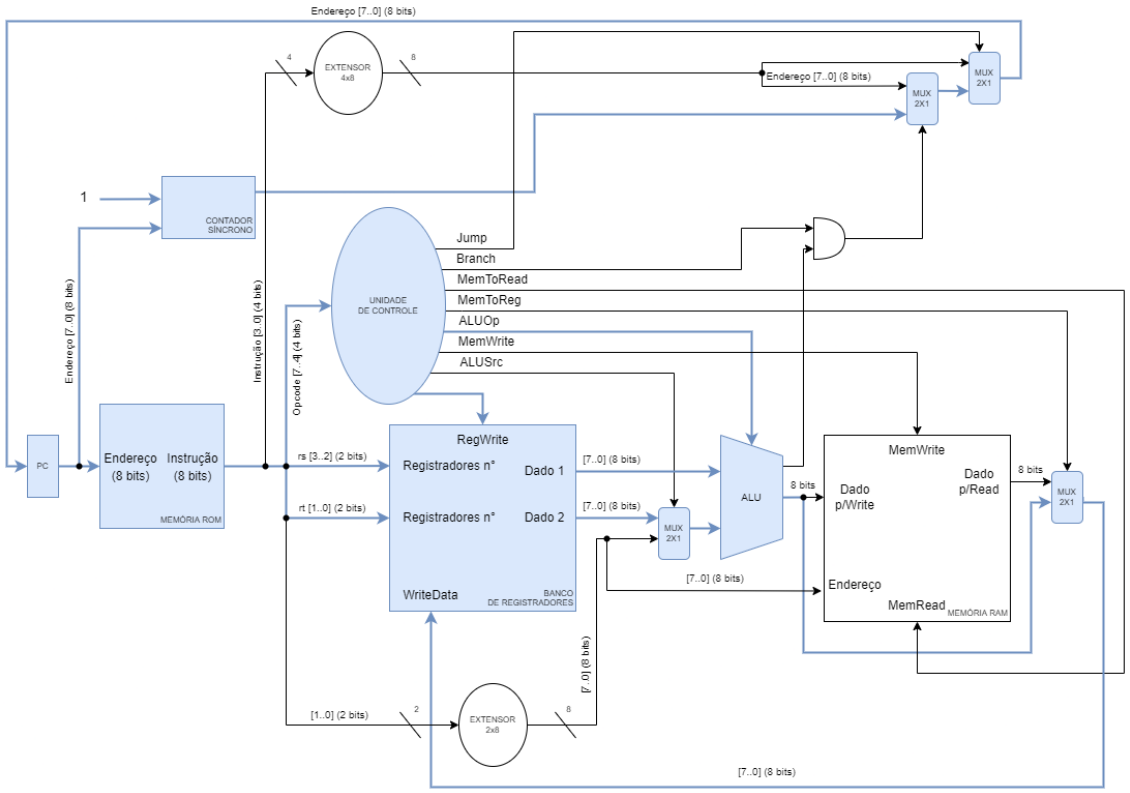
1.4. Datapath

Figura 15 – Datapath



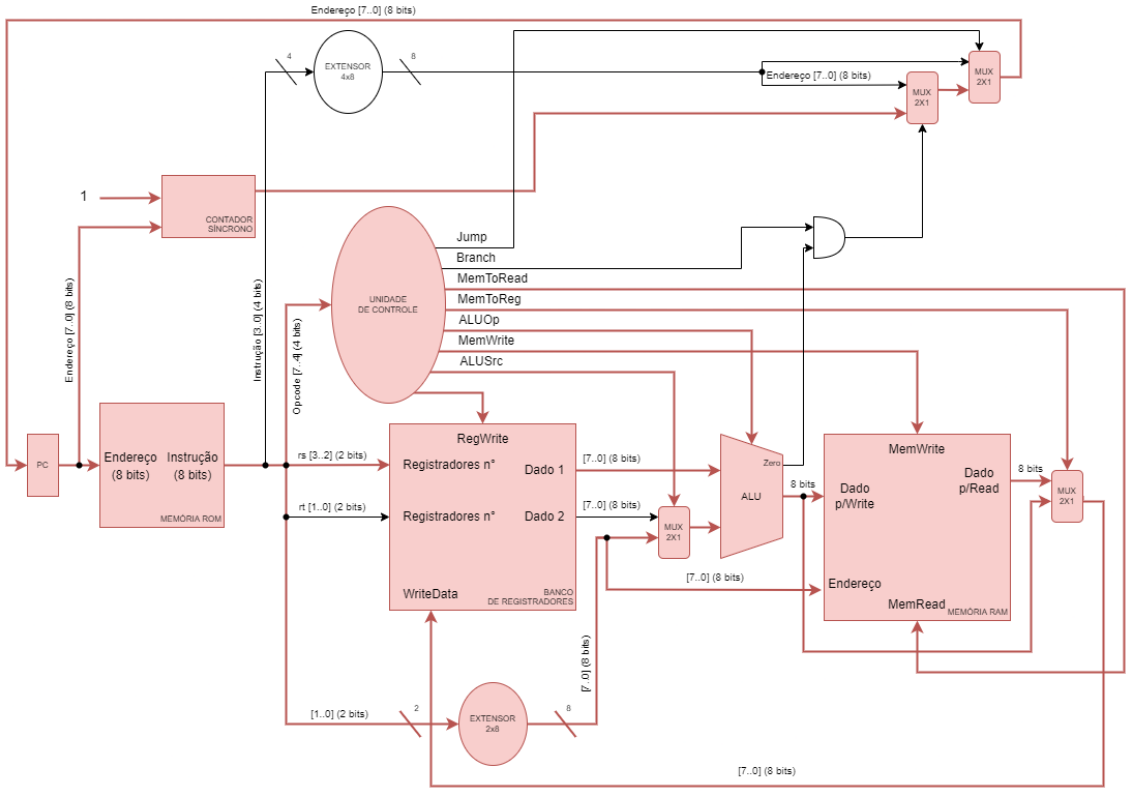
Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 16 – Datapath para instrução tipo R



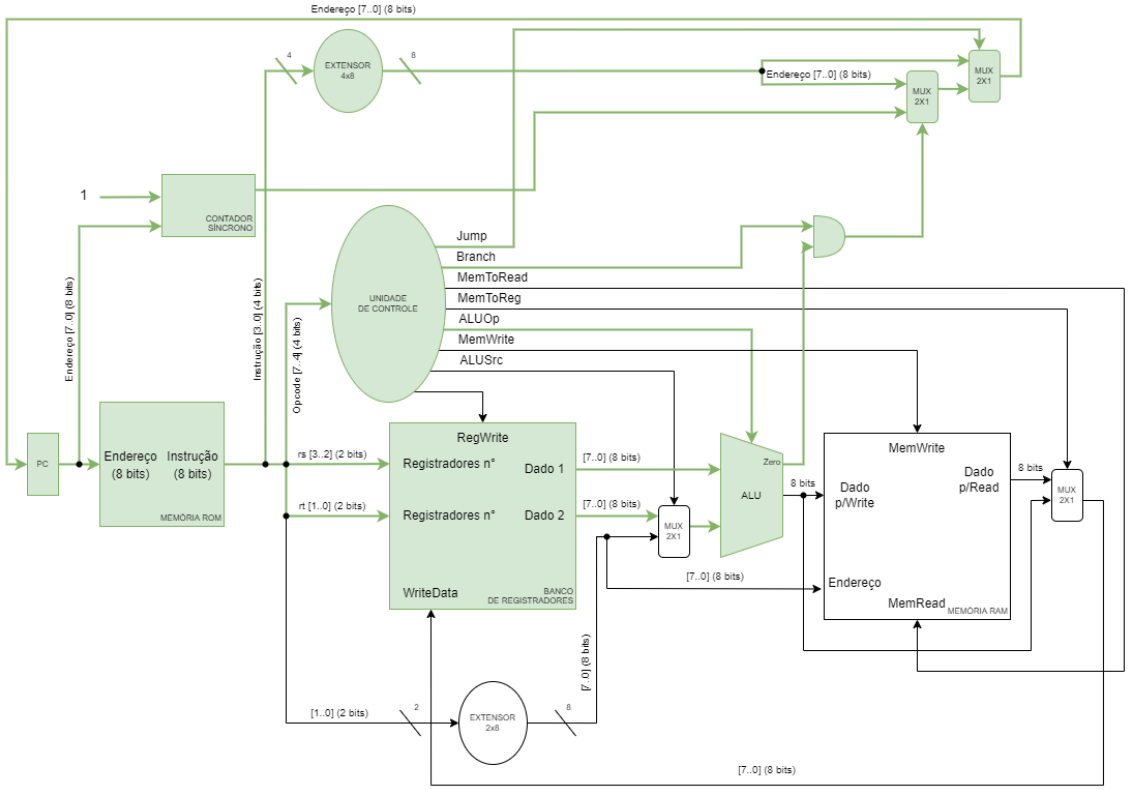
Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 17 – Datapath para instrução tipo I



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 18 – Datapath para instrução tipo J



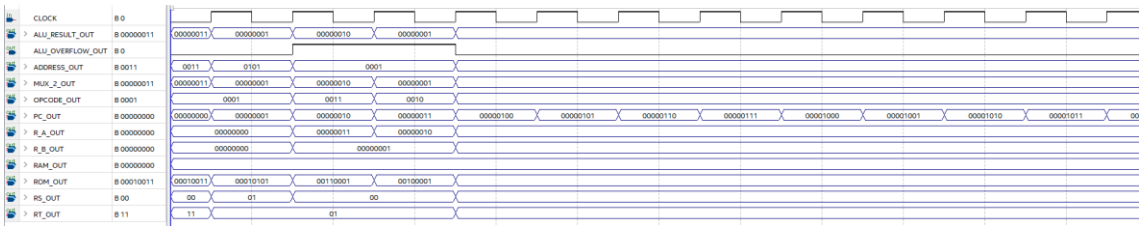
Fonte: Elaborada pelos autores.

2. Simulações e Testes

2.1. Teste ADDI, SUB e SUBI

Figuras 19 e 20 – Teste ADDI, SUB e SUBI

```
-- TESTE DE ADDI, SUB E SUBI
        0 => "00010011", -- ADDI S0 3
        1 => "00010101", -- ADDI S1 1
        2 => "00110001", -- SUBI S0 1
        3 => "00100001", -- SUB S0 S1
```

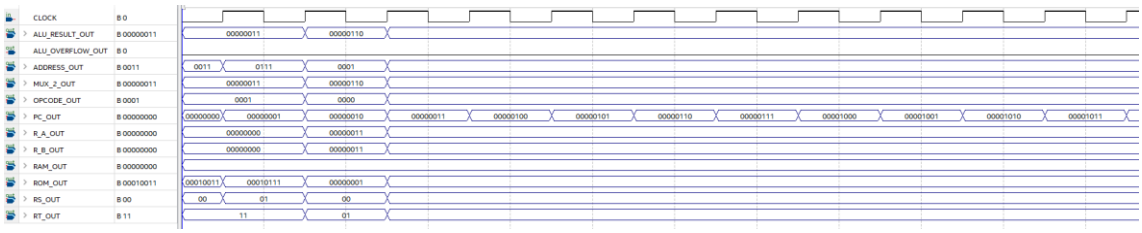


Fonte: Elaborada pelos autores.

2.2. Teste ADD e ADDI

Figuras 21 e 22 – Teste ADD e ADDI

```
-- TESTE DE ADD E ADDI
        0 => "00010011", -- ADDI S0 3
        1 => "00010111", -- ADDI S1 3
        2 => "00000001", -- ADD S0 S1
```

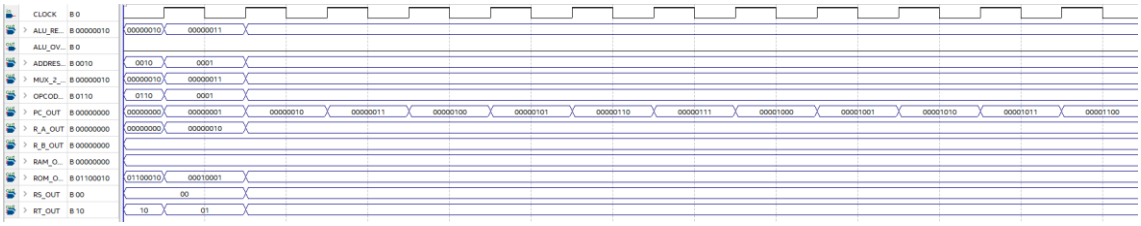


Fonte: Elaborada pelos autores.

2.3. Teste BEQ

Figuras 23 e 24 – Teste BEQ

```
-- TESTE BEQ
        0 => "00010010", -- LI S0 2
        1 => "00010110", -- LI S1 2
        2 => "10000001", -- IF S0 == S1
        3 => "01110101", -- BEQ S0 == S1 JUMP 0101
        4 => "00010001", -- ADDI S0 1
        5 => "00010010", -- ADDI S0 2
```



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.4. Teste LI

Figuras 25 e 26 – Teste LI

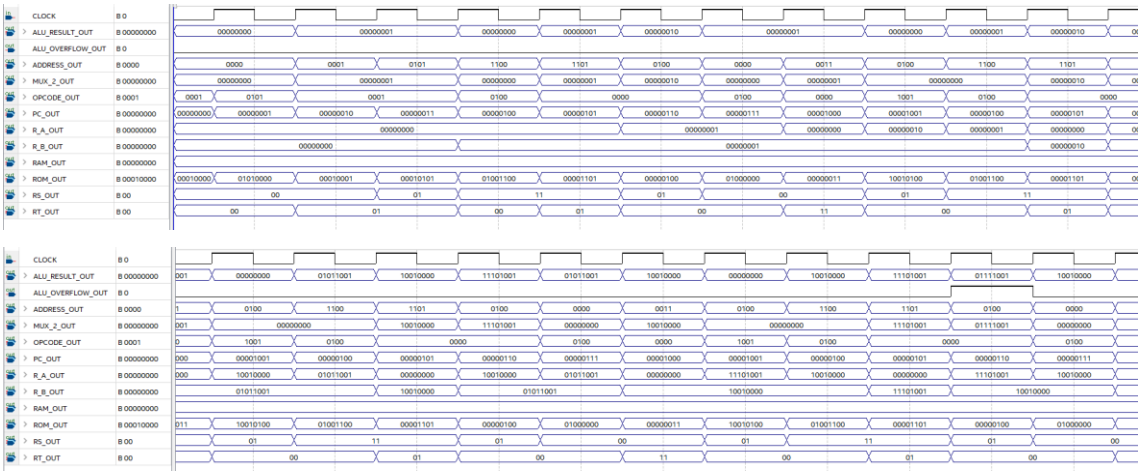
```
-- TESTE LI
        0 => "01100010", -- LI S0 2
        1 => "00010001", -- ADDI S0 1
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

2.5. Teste FIBONACCI

Figuras 27, 28 e 29 – Teste LI

```
-- TESTE FIBONACCI
        0 => "00010000", -- ADDI S0 0
        1 => "01010000", -- SW S0
        2 => "00010001", -- ADDI S0 1
        3 => "00010101", -- ADDI S1 1
        4 => "01001100", -- LW S3 00
        5 => "00001101", -- ADD S3 S1
        6 => "00000100", -- ADD S2 S1
        7 => "01000000", -- LW S0 00
        8 => "00000011", -- ADD S0 S3
        9 => "10010100", -- J 0100
```



Fonte: Elaborada pelos autores.

3. Considerações Finais

Este trabalho apresentou o projeto e implementação do processador de 8 bits denominado de EK, que foi uma rica oportunidade para pôr em prática o que nos foi ensinado na disciplina de AOC, e esclarecer diversos pontos que antes estavam difíceis de se entender. Uma das maiores dificuldades encontradas foi justamente a de ter que lidar com um baixo número de bits.

No entanto, houveram limitações impostas pelas restrições definidas, tais como: jump apenas consegue pular entre as 16 primeiras linhas de código do programa; um programa pode ter no máximo 256 linhas de código; o processador dispões de apenas 4 registradores.

4. Repositório

https://github.com/ed-henrique/AOC_Eduardo_Kelvin_UFRR_2022