

**EEL7020 – Sistemas Digitais**  
**Aula 12:**  
**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

Prof. Djones Vinicius Lettnin  
lettnin@eel.ufsc.br  
<http://dlettnin.paginas.ufsc.br/>

Disclaimer: slides adapted for EEL7020 by D. Lettnin from the original slides made available by the author J. Guentzel.

**Estudo de Caso 3**

**Síntese de Circuitos Sequenciais**  
Exemplo 6: a máquina de vendas (vending machine)

Interfaces da máquina de vendas

CC = moeda de R\$ 0,50 detectada  
UM = moeda de R\$ 1,00 detectada

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettnin

**Registradores**

**Registrador com carga paralela (versão 2)**

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettnin

**Up/Down-Counter**

- Can count either up or down
  - Includes both incrementer and decrementer
  - Use dir input to select, using 2x1: dir=0 means up
  - Likewise, dir selects appropriate terminal count value

© Vahid – Adapted by D. Lettnin

**Comparators**

• **N-bit equality comparator:** Outputs 1 if two N-bit numbers are equal

- 4-bit equality comparator with inputs A and B
  - a3 must equal b3, a2 = b2, a1 = b1, a0 = b0
    - Two bits are equal if both 1, or both 0
    - $\text{eq} = (a3b3 + a3'b3') * (a2b2 + a2'b2') * (a1b1 + a1'b1') * (a0b0 + a0'b0')$
  - Recall that XNOR outputs 1 if its two input bits are the same
  - $\text{eq} = (a3 \text{xnor } b3) * (a2 \text{xnor } b2) * (a1 \text{xnor } b1) * (a0 \text{xnor } b0)$

0110 = 0111 ?

© Vahid – Adapted by D. Lettnin

**Plano de Aula**

- O modelo BO / BC (datapath vs. controle)
- Componentes do Nível RT
- Método de Projeto no Nível RT

1

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**O Modelo Bloco Operativo / Bloco de Controle**

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettim

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**O Modelo Bloco Operativo / Bloco de Controle**

**Bloco Operativo:**

- Realiza **transformações** sobre dados, geralmente provenientes do ambiente externo
- As transformações são realizadas em **um ou mais passos**, cada passo demorando **um ciclo de relógio**
- Gera sinais de "status" que são usados pelo **Bloco de Controle** para definir a sequência de operações a serem realizadas (às vezes são chamados de "flags")

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettim

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**O Modelo Bloco Operativo / Bloco de Controle**

**Bloco de Controle:**

- Gera comandos, que são **sinais de controle** na ordem necessária para que o bloco operativo realize os passos desejados
- Recebe **sinais de controle do ambiente externo**, podendo ser desde um simples "iniciar" até um código de operação ("opcode", dos processadores)
- Pode gerar **uma ou mais saídas de controle** para se comunicar com outros sistemas digitais (p. ex.: "done", "bus request", "ack")

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettim

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**Os Componentes do Nível RT**

**Bloco Operativo:**

- Unidades Funcionais (UFs).** Exemplos: somadores, subtraidores, deslocadores, multiplicadores, UFs combinadas (somadores/subtraidores, ULAs)
- Elementos de armazenamento:** registradores, banco de registradores (vários registradores, mas com limitação de portas de entrada/saída), memórias RAM (geralmente, SRAM)
- Rede de interconexão:** fios, multiplexadores, barramentos + buffers tri-state

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettim

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**Os Componentes do Nível RT**

**Bloco de Controle:**

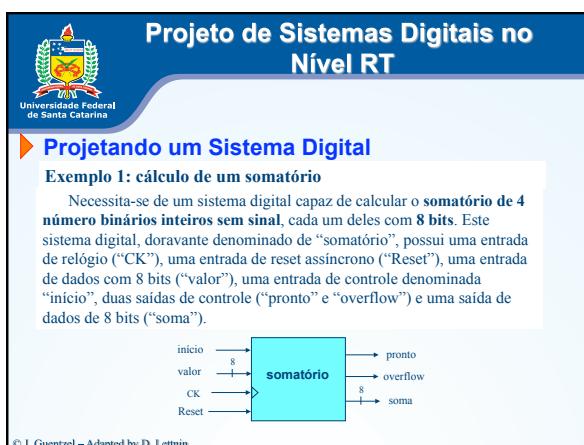
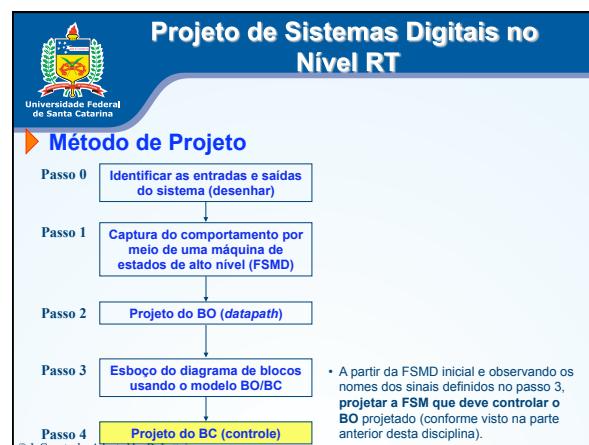
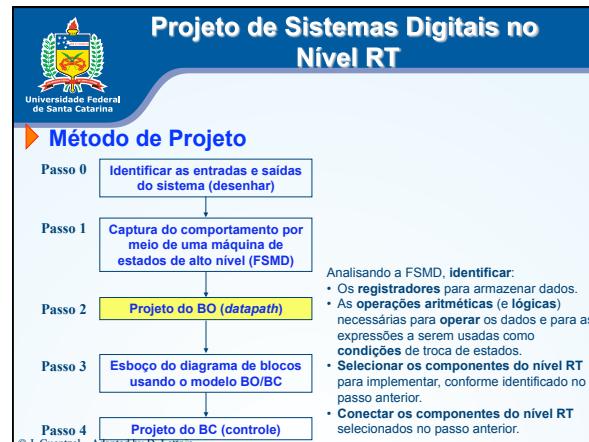
- Implementado por **uma ou mais FSMs** usando um dos seguintes métodos:
  - Hardwired:** registrador de estados + circuitos lógicos ou
  - Usando ROM:** registrador de estados + circuito comb. + um ou mais blocos ROM ou
  - Microprogramada:** registrador-contador + circuito comb. + um ou mais blocos ROM (subcaso da anterior...)

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**Método de Projeto**

Passo 0	Identificar as entradas e saídas do sistema (desenhar)
Passo 1	Captura do comportamento por meio de uma máquina de estados de alto nível (FSMD)
Passo 2	Projeto do BO (datapath)
Passo 3	Esboço do diagrama de blocos usando o modelo BO/BC
Passo 4	Projeto do BC (controle)

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettim



**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

### Projetando um Sistema Digital

**Exemplo 1: Passo 1 (captura do comportamento com FSMD)**

Nitidamente, este sistema digital deve realizar o seguinte algoritmo (em hardware):

```

    Inicio
    acum ← 0;
    Fazer 4 vezes
    {
        acum ← acum + valor;
    }
    Fim
  
```

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettin

FSMD State Transition Diagram:

```

graph TD
    S0((S0)) -- "inicio" --> S1((S1))
    S1 -- "acum ← acum + valor" --> S2((S2))
    S2 -- "acum ← acum + valor" --> S3((S3))
    S3 -- "acum ← acum + valor" --> S4((S4))
    S4 -- "acum ← acum + valor" --> S5((S5))
    S5 -- "pronto ← 1" --> S0
    S0 -- "Reset" --> S0
  
```

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

### Projetando um Sistema Digital

**Exemplo 1: Passo 2 (projeto do BO)**

Este é um B.O. típico para o cálculo de um somatório.

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettin

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

### Projetando um Sistema Digital

Exercício: ilustrar o comportamento do S.D. Do exemplo 1 por meio de formas de onda apropriadas.

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettin

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

### Projetando um Sistema Digital

**Exemplo 1: Passo 2 (projeto do BO)**

**Pergunta:**  
E se fosse necessário realizar a soma sequencial de 1024 parcelas, a FSM teria **1026** estados?

**Resp.: sim!**

Então é melhor pensarmos em uma solução mais genérica...

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettin

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

### Projetando um Sistema Digital

**Exemplo 1a: Passo 1 (captura do comportamento com FSMD)**

Uma Solução mais genérica...

```

    Inicio
    acum ← 0; cont ← 4;
    Enquanto (cont ≠ 0) faça:
    {
        acum ← acum + valor;
        cont ← cont - 1;
    }
    Fim
  
```

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettin

FSMD State Transition Diagram:

```

graph TD
    S0((S0)) -- "inicio" --> S1((S1))
    S1 -- "cont = 0" --> S3((S3))
    S1 -- "cont ≠ 0" --> S2((S2))
    S2 -- "cont = 0" --> S3
    S2 -- "cont ≠ 0" --> S1
    S3 -- "pronto ← 1" --> S0
    S0 -- "Reset" --> S0
  
```

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

### Projetando um Sistema Digital

**Exemplo 1a: Passo 2 (projeto do BO)**

Questões:

- Quais variáveis são usadas para armazenar dados?
- Apens uma variável: "acum" (note que "valor" é uma entrada e "soma" é uma saída)
- Logo, teremos um registrador denominado "acum" para esta variável

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettin

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**Projetando um Sistema Digital**

**Exemplo 1a: Passo 2 (projeto do BO)**

Porém:  
• Note que há um registrador que armazena informação de controle: "cont"

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettmann

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**Projetando um Sistema Digital**

**Exemplo 1a: Passo 2 (projeto do BO)**

Questões:  
• Quais operações são realizadas sobre dados (incluindo-se as condições)?  
• Uma adição para números de 8 bits ( $acum \leftarrow acum + valor$ )  
• Um decreto ( $cont \leftarrow cont - 1$ ). Iremos usar um contador-decrementador (mas poderíamos usar um subtrator ou um somador/subtrator...)  
• Uma comparação com zero ( $cont=0$ ).

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettmann

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**Projetando um Sistema Digital**

**Exemplo 1a: Passo 2 (projeto do BO)**

Convenção:  
• Todos os registradores (incluindo o contador) são cedidos pelo sinal de relógio (ck). Entretanto, para simplificar o desenho, o sinal de relógio está omitido.

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettmann

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**Projetando um Sistema Digital**

**Exemplo 1a: Passo 3 (Esboçando o diagrama BO/BC)**

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettmann

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**Projetando um Sistema Digital**

**Exemplo 1a: Passo 3 (Um diagrama BO/BC mais detalhado...)**

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettmann

**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

**Projetando um Sistema Digital**

**Exemplo 1a: Passo 4 (Derivando a FSM a partir do BO e da FSMD)**

FSMD

FSM

© J. Guentzel – Adapted by D. Lettmann



**EEL7020 – Sistemas Digitais**  
**Aula 12:**  
**Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT**

Prof. Djones Vinicius Lettnin  
lettnin@eel.ufsc.br  
<http://dlettnin.pginas.ufsc.br/>

Disclaimer: slides adapted for EEL7020 by D. Lettnin from  
the original slides made available by the author J. Guentzel.