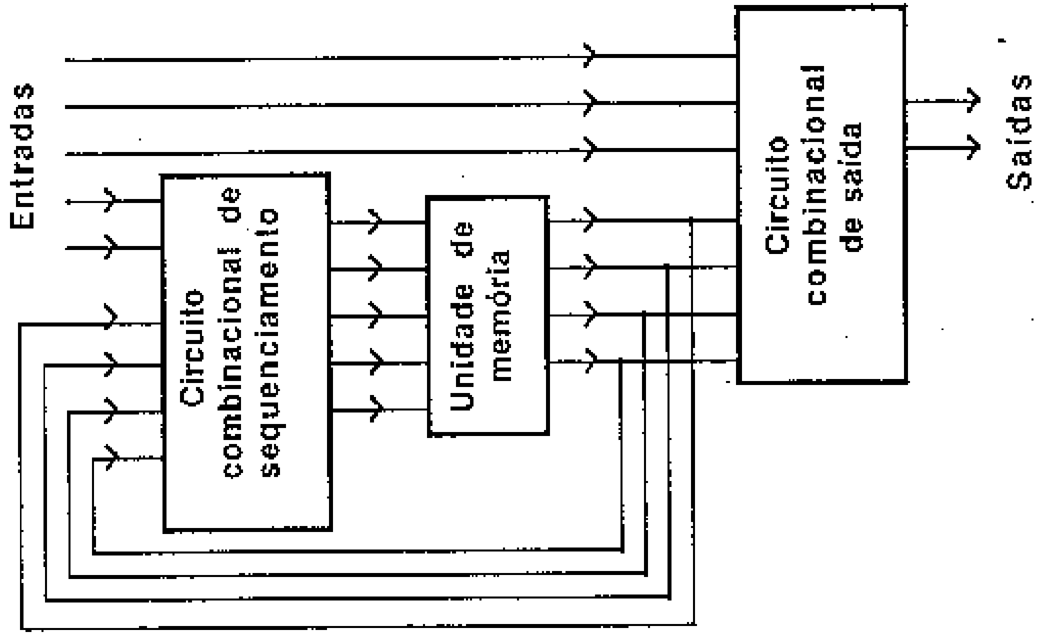
Análise de Circuitos Sequenciais

Modelo geral dos circuitos sequenciais

Um **circuito sequencial** é constituído por uma **componente de memória** e por uma **componente combinacional**:



A componente de memória designa-se por **Unidade de Memória**, e é constituída por um conjunto de *Flip-Flops* (células de memória).

O conjunto das saídas de todas as células de memória constitui o **estado** de um circuito sequencial.

O **número de estados** depende do número de *Flip-Flops* que o circuito contém:

- Como cada *Flip-Flop* tem dois estados possíveis (Q=**0** ou Q=**1**), o número total de estados é $\mathbf{2^n}$, sendo **n** o número de *Flip-Flops* do circuito.

Designam-se por **variáveis de estado**, as saídas da Unidade de Memória (uma variável por cada saída de um *Flip-Flop*).

No modelo geral de um circuito sequencial, define-se:

Descodificador de Saída - é o circuito combinacional que gera as **saídas externas** do circuito sequencial;

Descodificador de Estado Seguinte - é o circuito combinacional que gera as **entradas para o bloco Unidade de Memória** (estas são tais que, aplicadas aos *Flip-Flops*, resultarão numa combinação de variáveis de estado igual ao estado seguinte pretendido).

Análise/síntese de circuitos sequenciais

Análise de um circuito: é o processo que permite obter uma descrição sobre o funcionamento do circuito, através do exame do seu diagrama lógico.

Síntese de um circuito: é o processo que, a partir da descrição do funcionamento pretendido para o circuito, permite chegar ao diagrama lógico que traduz esse funcionamento.

Neste capítulo abordar-se-á a análise de circuitos sequenciais, sendo o processo de síntese tema do próximo capítulo.

Análise de circuitos sequenciais

O funcionamento de um circuito sequencial pode ser representado por:

- um **Diagrama de Estados**
- uma **Tabela de Transição** de estados

O significado de ambas as representações é o mesmo, mas o primeiro é visualmente mais claro.

Com efeito, num processo de análise o Diagrama de Estados é uma das últimas representações que se obtêm, uma vez que explica claramente o funcionamento do circuito.

Diagrama de Estados

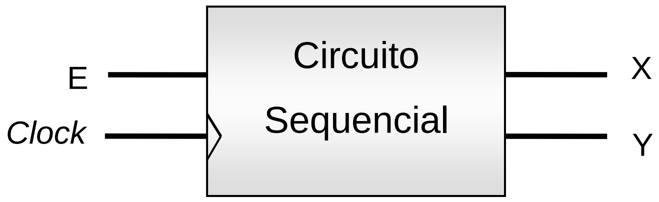
O Diagrama de Estados representa de forma clara a sequência de **estados** pelos quais o circuito passa em função das **entradas**, e as **saídas** que vai gerando.

Neste diagrama:

- os **estados** designam-se por letras (ou códigos binários) dentro de ovais;
- as **entradas** são apresentadas em etiquetas junto aos arcos que ligam os estados;
- as **saídas** aparecem ao lado das entradas, separadas destas últimas por uma barra (‘/’).

Exemplo

Considere-se um circuito sequencial com uma única entrada **E** (para além da entrada de relógio), cujo funcionamento é o seguinte:



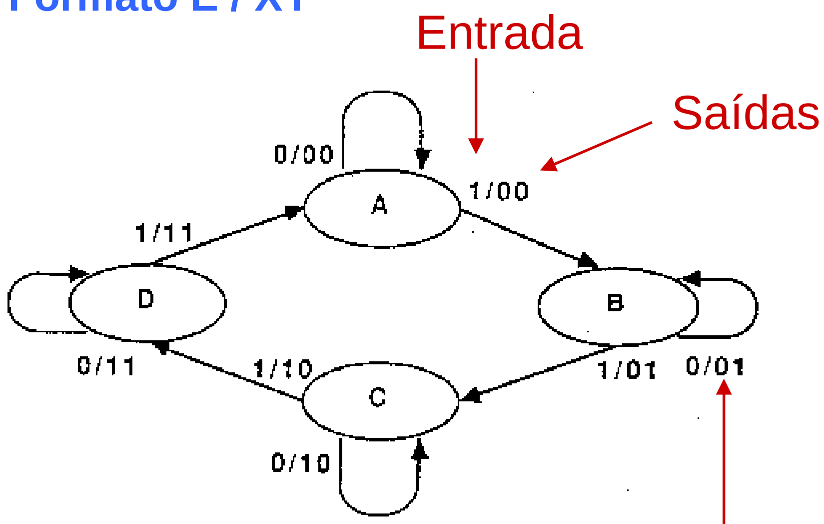
- Enquanto **E**=**1**, o circuito percorre a sequência de estados **A**,**B**,**C**,**D**,**A**,...
- Enquanto **E**=**0**, o circuito mantém-se no mesmo estado
- As saídas **X** e **Y**, são produzidas de acordo com a tabela seguinte:

Estado	X	Y
A	0	0
B	0	1
C	1	0
D	1	1

O diagrama de estados correspondente é o seguinte:

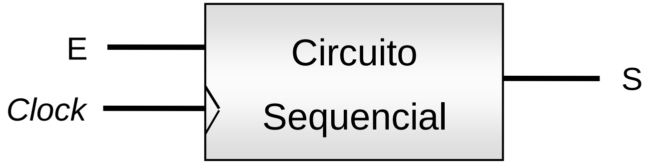
- Se a entrada for **1**, o circuito passa sempre ao estado seguinte (quando ocorrer a próxima vertente activa do relógio);
- Se a entrada for **0**, o circuito permanece no estado actual;
- As saídas dependem apenas do estado presente.

Formato E / XY



Estado	X	Y
A	0	0
B	0	1
C	1	0
D	1	1

Outro exemplo



Considere-se um circuito com dois estados **A** e **B**, uma entrada **E** e uma saída **S**, cujo funcionamento é o seguinte:

- No estado **A**, a saída é igual à entrada. Neste caso é necessário usar duas etiquetas para o mesmo estado: se entrada=**0** ➔ saída=**0**; se entrada=**1** ➔ saída=**1**.
- No estado **B**, qualquer que seja a entrada, a saída é **1**.
- A transição entre os estados não depende da entrada **E**. (A transição dá-se quando ocorrer a vertente activa do relógio.)

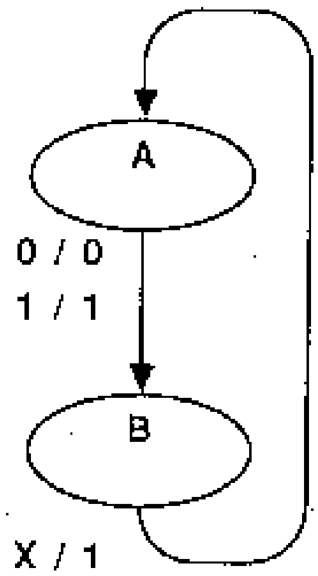


Tabela de Transição

Como foi anteriormente referido, a **Tabela de Transição** é outra das formas de representar o funcionamento de um circuito sequencial.

Esta é composta por 2 grupos de colunas:

Estado Presente e Entradas

Estado presente	Entradas	Estado seguinte	Saídas X	Saídas Y
A	0	A	0	0
A	1	B	0	0
B	0	B	0	1
B	1	C	0	1
C	0	C	1	0
C	1	D	1	0
D	0	D	1	1
D	1	A	1	1

Estado Seguinte e Saídas

Tabela de Excitação

A **Tabela de Excitação** é outra ferramenta utilizada quer na análise quer na síntese de circuitos sequenciais.

É semelhante à Tabela de Transição mas substitui o Estado Seguinte pelas entradas a aplicar aos *Flip-Flops* para se alcançar esse Estado Seguinte.

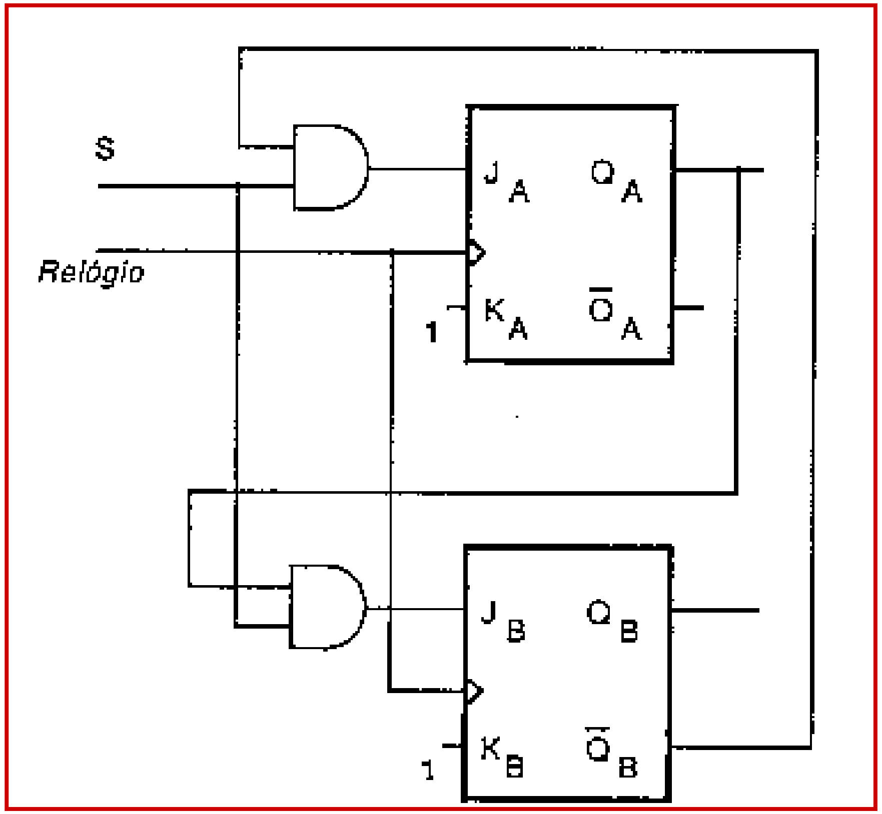
A sua obtenção encontra-se ilustrada nos exemplos seguintes.

Exemplos de Análise

Exemplo 1

Considere-se o circuito da figura seguinte:

- Como funciona?
- O que faz ?



<u>1º Passo</u>: Obter as Funções de Excitação dos *Flip-Flops*

Para tal basta ler do diagrama lógico, as funções lógicas que estão aplicadas às entradas dos *Flip-Flops*.

$$\boxed{\begin{array}{l} J_A = \overline{Q_B}.S \\ J_B = Q_A.S \end{array}} \qquad \boxed{\begin{array}{l} K_A = 1 \\ K_B = 1 \end{array}}$$

<u>2º Passo</u>: Obter a Tabela de Excitação

Aplicar as funções obtidas acima, para cada combinação de (QA, QB, S), e ver quais são as entradas JA, KA, JB e KB.

$J_A = \overline{Q_B}.S$

$J_B = Q_A.S$

$K_A = 1$

$K_B = 1$

Sempre 1

Só é 1 com Q_B=0 e S=1

Só é 1 com Q_A=1 e S=1

Estado presente						
$Q_B^{(n)}$	$Q_A^{(n)}$	S	J_B	K_B	J_A	K_A
0	0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	1	1
0	1	0	0	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	1
1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	1	1	0	1

<u>3º Passo</u>: Obter a Tabela de Transição

O objectivo da Tabela de Transição é obter o estado que se segue ao estado presente.

Como a Tabela de Excitação dá os estados presentes e as entradas dos *Flip-Flops*, atendendo às tabelas destes últimos, podemos deduzir os estados seguintes.

Estado presente $Q_B^{(n)}$	Estado presente $Q_A^{(n)}$	S	J_B	K_B	J_A	K_A
0	0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	1	1
0	1	0	0	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	1
1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	1	1	0	1

J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\bar{Q}_n$

Q_B^{n+1}

0

1

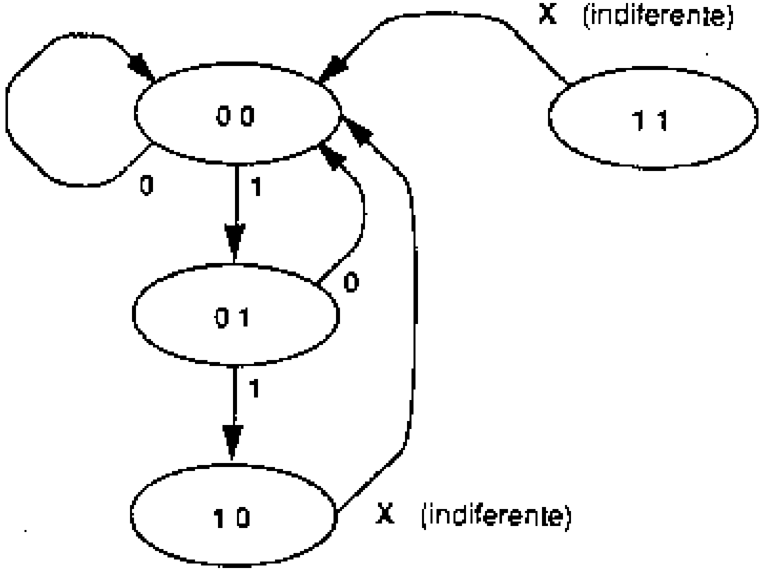
A Tabela de Transição completa é a seguinte:

Estado presente $Q_B^{(n)}$	$Q_A^{(n)}$	S	J_B	K_B	J_A	K_A	Estado seguinte $Q_B^{(n+1)}$	$Q_A^{(n+1)}$
0	0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	1	1	1	0	1
0	1	0	0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	1	0	1	0	0
1	1	1	1	1	0	1	0	0

4º Passo: Desenhar o Diagrama de Estados

- Se Estado=00 e S=0, Estado Seguinte=00 (mantém-se); se S=1, Estado Seguinte=01
- Se Estado=01 e S=0, Estado Seguinte=00; se S=1, Estado Seguinte=10
- Se Estado=10, qualquer que seja S, Estado Seguinte=00
- Se Estado=11, qualquer que seja S, Estado Seguinte=00

Estado presente							Estado seguinte	
$Q_B^{(n)}$	$Q_A^{(n)}$	S	J_B	K_B	J_A	K_A	$Q_B^{(n+1)}$	$Q_A^{(n+1)}$
0	0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	1	1	1	0	1
0	1	0	0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	1	0	1	0	0
1	1	1	1	1	0	1	0	0



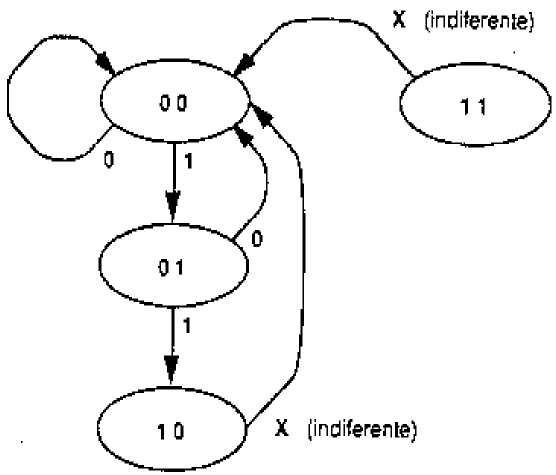
5º Passo: Descrição verbal

Considere-se que o circuito parte do estado ***00****. Quando a entrada* ***S=1****, o circuito transita para o estado* ***01****, depois para o* ***10*** *e finalmente regressa ao estado* ***00****.*

Quando a entrada ***S=0****, o circuito regressa ao estado* ***00****, independentemente de qual for o estado actual.*

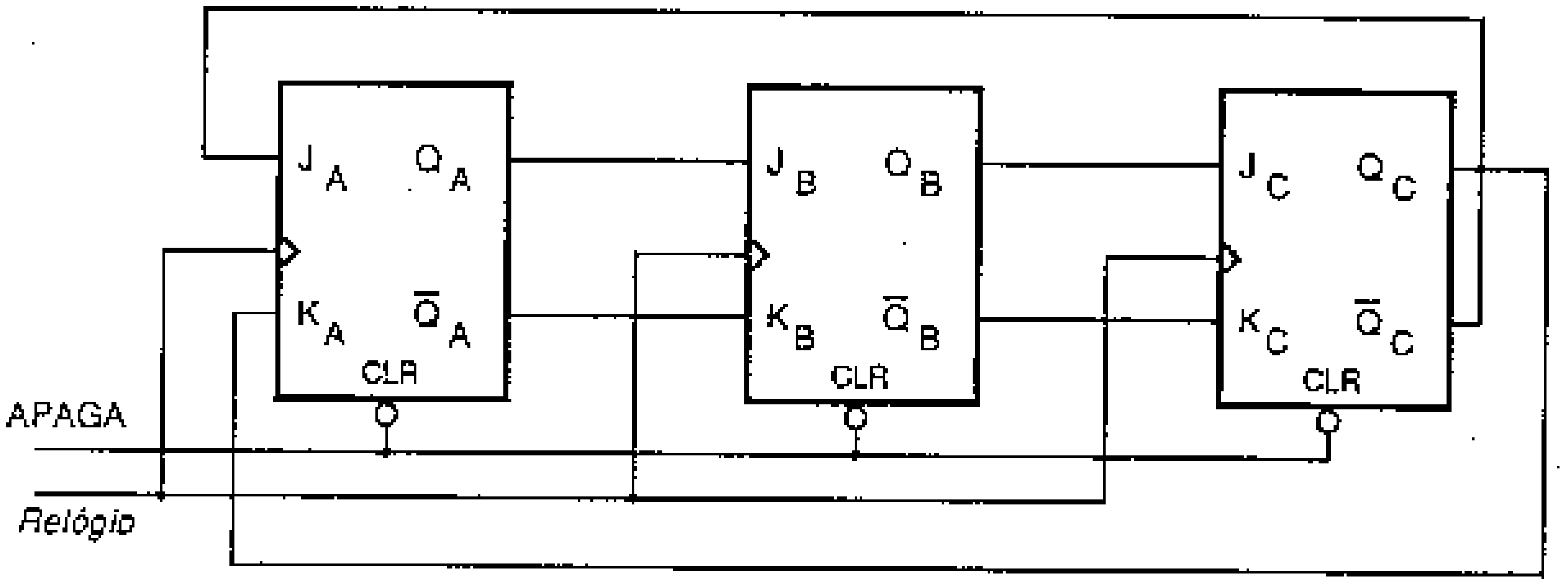
O estado ***11*** *não faz parte da sequência principal.*

A entrada ***S*** *controla o avanço na sequência principal.*



Exemplo 2

Considere-se o seguinte circuito:



APAGA é um sinal assíncrono que, quando activado, coloca a saída dos *Flip-Flops* a **0**.

<u>1º Passo</u>: Obter as Funções de Excitação

(a partir do diagrama lógico)

$$J_A = \bar{Q}_C \qquad K_A = Q_C$$
$$J_B = Q_A \qquad K_B = \bar{Q}_A$$
$$J_C = Q_B \qquad K_C = \bar{Q}_B$$

<u>2º Passo</u>: Obter a Tabela de Excitação

(usando as funções de excitação, obter os J e os K)

$$J_A = \bar{Q}_C \qquad K_A = Q_C$$
$$J_B = Q_A \qquad \boxed{K_B = \bar{Q}_A}$$
$$J_C = Q_B \qquad K_C = \bar{Q}_B$$

Por exemplo:

Estado presente $Q_A^{(n)}$	$Q_B^{(n)}$	$Q_C^{(n)}$	J_A	K_A	J_B	K_B	J_C	K_C
0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	1	0	0	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	1	1	0	1	0

<u>3º Passo</u>: Obter a Tabela de Transição

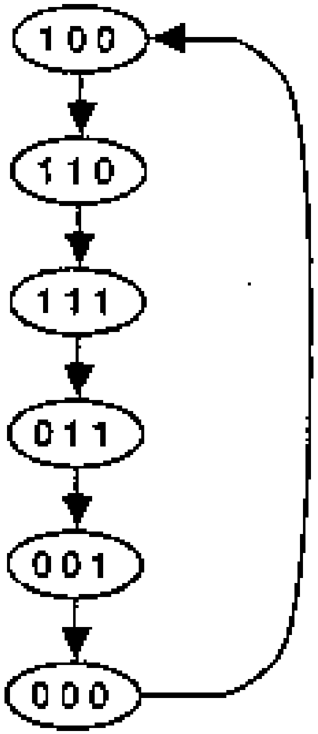
(partindo da tabela anterior e da tabela funcional dos *FF*s)

J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\bar{Q}_n$

Estado presente									Estado seguinte		
$Q_A^{(n)}$	$Q_B^{(n)}$	$Q_C^{(n)}$	J_A	K_A	J_B	K_B	J_C	K_C	$Q_A^{(n+1)}$	$Q_B^{(n+1)}$	$Q_C^{(n+1)}$
0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1
0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1

<u>4º Passo</u>: Desenhar o Diagrama de Estados

(por leitura da Tabela de Transição)



- O circuito **não tem entradas** (para além da de relógio)
- Os estados 101 e 010 **não fazem parte da sequência** principal

<u>5º Passo</u>: Descrição verbal

*Pode dizer-se que o circuito funciona como um **registo de deslocamento de 3 bits** com negação no último: o bit em **C** "entra" em **A** no clock seguinte (embora negado) e os restantes "deslocam-se para a direita". Este tipo de funcionamento corresponde aos **Twisted-ring Counters** ou **Contadores de Moebius.***