



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA BAIANO**

RELÓGIO DIGITAL

Lucas Silva de Oliveira¹ e Wesley Ulisses Santos²

Itapetinga-BA
2022



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO

RELÓGIO DIGITAL

Relatório apresentado ao docente Marcus Vinícius Souza Sodré, como atividade da disciplina Sistemas Digitais, do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano.

Itapetinga-BA
2022

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
1.1 FLIP-FLOP	3
1.3 CONTADORES	3
1.3 CONTADORES ASSÍNCRONOS E CONTADORES SÍNCRONOS	4
2. OBJETIVOS	6
2.1 GERAL	7
2.2 ESPECÍFICOS	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1 LIVROS	7
3.1 SIMULAÇÃO NO ANTARES	7
3.2 DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM RELÓGIO DIGITAL	7
3.3 ASSÍNCRONOS X SÍNCRONOS	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	9
4.1 RELÓGIO DIGITAL SÍNCRONO	9
4.2 RELÓGIO DIGITAL ASSÍNCRONO COM INÍCIO DEFINIDO	15
5. CONCLUSÃO	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

1. INTRODUÇÃO

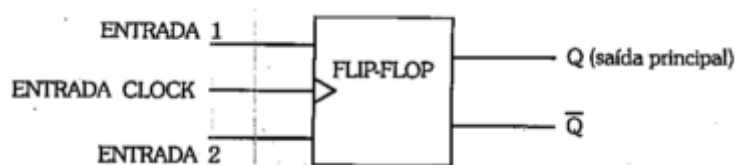
O ser humano sempre conseguiu sobreviver e evoluir graças a sua capacidade de se reinventar e criar novas tecnologias a todo o momento. Um exemplo claro sobre essa capacidade de se reinventar é a evolução dos relógios, começando com o relógio de sol que precisava simplesmente de uma haste vertical e o sol, em seguida, os relógios mecânicos que utilizam engrenagens complexas, os relógios digitais que necessitam de um bom conhecimento de circuitos lógicos e por fim os relógios atômicos que precisam de um enorme conhecimento em física, química e matemática para serem construídos.

Este projeto tem por finalidade central, a aplicação dos conhecimentos obtidos na disciplina de sistemas digitais para a criação de um relógio digital, disciplina esta, ministrada pelo professor Mestre Marcus Vinicius Souza Sodré . Para construirmos um relógio digital é necessário escolher o equipamento necessário e que tipo de contador será utilizado no projeto, todavia, através dos conhecimentos obtidos em sala de aula conhecemos os tipos de contadores assíncronos e síncronos. Porém antes de adentrarmos nesses termos, iremos apresentar alguns conceitos deveras importantes para uma boa compreensão do projeto.

1.1 FLIP-FLOP

De acordo com TOCCI(2011, p. 175). O elemento de memória mais importante se chama Flip-Flop (FF), composto por um conjunto de portas lógicas (And, Or, Nand, Nor, etc...). Apesar de que uma porta lógica sozinha não tenha capacidade de armazenamento, algumas podem ser conectadas entre si de modo a permitir o armazenamento de informação. Um elemento de memória pode ser criado utilizando do conceito de realimentação, sendo esta obtida a partir da conexão de determinadas saídas de portas de volta às entradas de portas apropriadas. Utilizando FFs podemos criar Registradores (Registram) e Contadores (Contam).

Figura 1 - Flip Flop



FONTE: Elementos de Eletrônica Digital Idoeta e Capuano, p 232

1.2 CONTADORES

Segundo IDOETA E CAPUANO(1997, p. 261). Contadores são circuitos digitais que variam os seus estados, sob o comando de um clock, de acordo com uma sequência predeterminada. São utilizados principalmente para contagens diversas, divisão de

frequência, medição de frequência e tempo, geração de formas de onda e conversão de analógico para digital.

Eles podem ser divididos em síncronos e assíncronos.

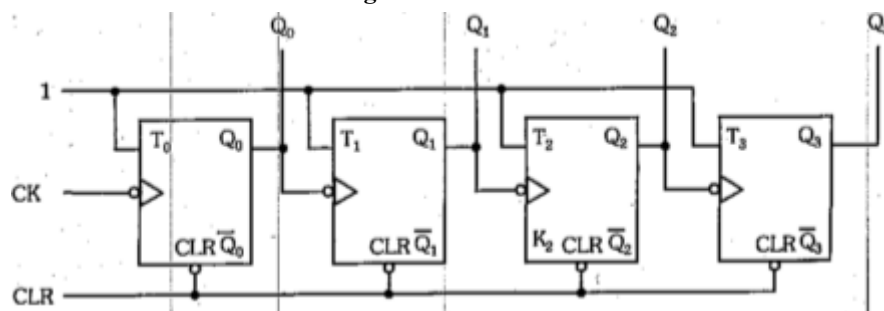
1.3 CONTADORES ASSÍNCRONOS E CONTADORES SÍNCRONOS

A diferença mais expressiva é que nos contadores assíncronos os flip-flops não compartilham o mesmo clock, entretanto, nos síncronos o clock é o mesmo para todos os flip-flops. TOCCI (2011, p. 306 - 311) no livro *Sistemas Digitais Princípios e Aplicações* esclarece alguns pontos referentes a esses contadores.

Assíncronos:

1. Os Pulsos de clock são aplicados na entrada CLK do flip-flop Q_0 . Assim, o flip-flop Q_0 comutará (mudará para o estado oposto) cada vez que ocorrer uma borda de descida (nível ALTO para BAIXO) no pulso de clock. Sendo que $J = K = 1$ para todos os FFs.
2. A saída normal do flip-flop Q_0 funciona como clock para o flip-flop Q_1 , sendo que o flip-flop Q_1 comuta a cada vez que a saída Q_0 muda de 1 para 0. Da mesma maneira, o flip-flop Q_2 comuta quando Q_1 muda de 1 para 0.
3. As saídas dos FFs representam um número binário de quatro bits, sendo o FF mais a esquerda o MSB.

Figura 2 - Contador de Pulsos



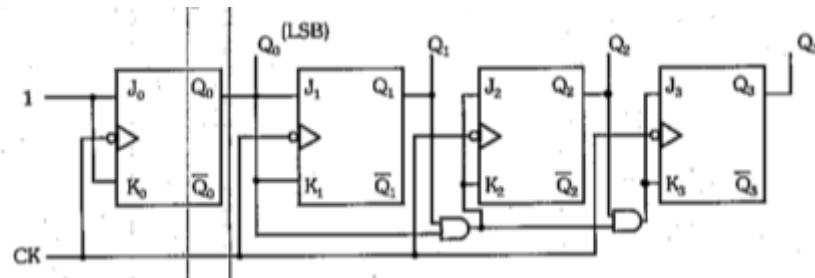
FONTE: Elementos de Eletrônica Digital Idoeta e Capuano, p 261

Síncronos:

1. Os FFs são disparados simultaneamente (em paralelo) pelos pulsos de clock da entrada
2. As entradas CLK de todos os FFs estão conectados juntas, de modo que o sinal de clock da entrada é aplicado simultaneamente em cada FF
3. As entradas J e K dos FFs são acionadas por uma combinação lógica das saídas dos FFs.

4. O contador síncrono requer um circuito maior que o contador assíncrono.

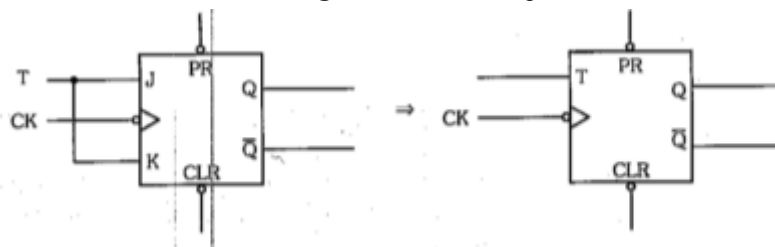
Figura 3 - Contador Gerador de Código Binário de 4 Bits



FONTE: Elementos de Eletrônica Digital Idoeta e Capuano, p 273

Para construirmos um contador assíncrono precisamos de Flip Flops tipo T com Preset-Clear. O tipo T é simplesmente o JK Master-Slave com as suas entradas J e K curto-circuitadas. Ou seja, as duas entradas sempre são iguais.

Figura 4 - Bloco Simplificado



FONTE: Elementos de Eletrônica Digital Idoeta e Capuano, p 246

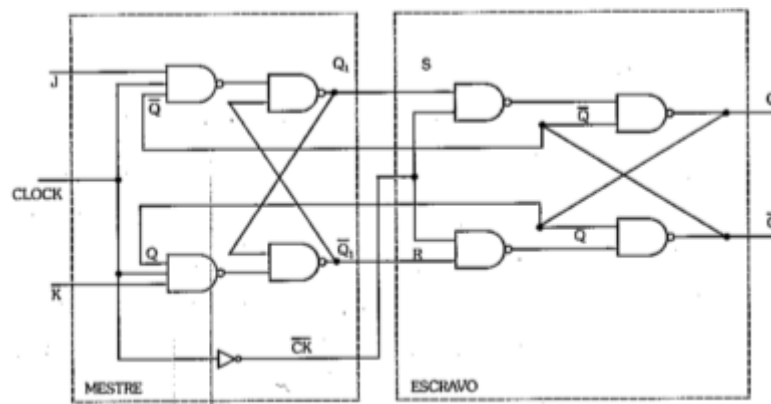
Figura 5 - Resumo da Tabela Verdade

T	Qt
0	Qa
1	$\bar{Q}a$

FONTE: Elementos de Eletrônica Digital Idoeta e Capuano, p 247

E para construirmos um contador síncrono precisamos de Flip Flops JK Master-Slave.

Figura 6 - Circuito Master-Slave



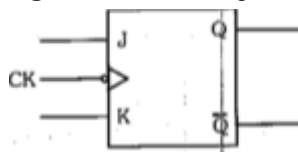
FONTE: Elementos de Eletrônica Digital Idoeta e Capuano, p 242

Figura 7 - Resumo da Tabela Verdade

J	K	Qf
0	0	Qa
0	1	0
1	0	1
1	1	\overline{Qa}

FONTE: Elementos de Eletrônica Digital Idoeta e Capuano

Figura 8 - Bloco Simplificado



FONTE: Elementos de Eletrônica Digital Idoeta e Capuano, p 244

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Projetar e construir um relógio digital, para assim, comprovarmos nosso conhecimento em relação aos flip-flops e suas aplicações, que são vistas em todo o momento na sociedade moderna.

2.2 ESPECÍFICOS

- Buscar algum atraso de propagação considerável em relação aos contadores assíncronos e síncronos que foram usados para a criação dos relógios.
- Conseguir simular uma aplicação de eletrônica digital.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LIVROS

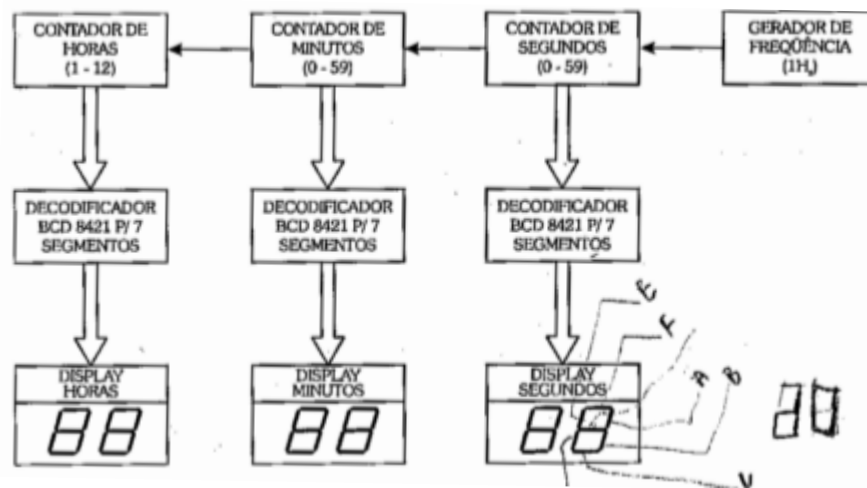
Para entendermos a metodologia para se criar um relógio digital, utilizamos principalmente os livros de sistemas digitais/eletrônica digital de Tocci, Capuano e Floyd. Com eles, obtivemos um bom conhecimento teórico para a elaboração do projeto.

3.2 SIMULAÇÃO NO ANTARES

De acordo com sua própria descrição, o Antares é uma plataforma gratuita e poderosa para projetar, simular e explicar circuitos digitais. Utilizaremos ele para projetar e construir nossos relógios digitais.

3.3 DIAGRAMAS DE BLOCOS DE UM RELÓGIO DIGITAL

Figura 9 - Diagrama de Blocos



Fonte: Elementos de Eletrônica Digital Idoeta e Capuano, p 295.

Com o diagrama de blocos, podemos entender que a cada pulso do gerador de frequência (Clock), o contador de segundos apresenta sua contagem num display de 7 segmentos, gerando também o pulso de clock para o contador de minutos, que também apresenta contagem no display de minutos, e por sua vez, gera o pulso de clock para o contador de horas. Com isso, conseguimos visualizar nos displays a contagem relativa às horas, minutos e segundos no relógio.

3.4 ASSÍNCRONOS X SÍNCRONOS

O contador síncrono requer um circuito maior, ou seja, mais portas lógicas. Entretanto, os FFs assíncronos também possuem pontos negativos, o principal é o atraso de propagação, de modo que, cada FF é disparado pela transição da saída do precedente. Tocci (2011, p. 309 - 313) em seu livro “Sistemas Digitais Princípios e Aplicações” explica que em virtude do tempo de atraso da propagação (t_{pd}), inerente a cada FF, o segundo não responderá por um intervalo do tempo t_{pd} após o primeiro FF receber uma transição ativa do clock; o terceiro FF não responderá por um intervalo de tempo igual a $2 \times t_{pd}$ após a transição do clock, e assim por diante. Em outras palavras, os atrasos da propagação dos FFs se acumulam, de modo que o n ésimo FF não muda de estado até que um intervalo de tempo igual a $N \times t_{pd}$ após a transição do clock, tenha ocorrido.

Portanto, os FFs assíncronos possuem um atraso de propagação muito alta quando usados para frequências muito altas, especialmente para um grande número de bits. Outro problema provocado pelo atraso de propagação em contadores assíncronos ocorre quando as saídas do contador são decodificadas. Ou seja, alguns estados não condizentes com as

sequências ocorrem antes da sequência correta da contagem binária, o olho humano não é rápido o bastante para observar isso, porém, os circuitos/simuladores são.

Nos contadores síncronos, todos os FFs mudam simultaneamente, portanto, estão sincronizados com as transições dos pulsos do clock. Com isso, temos que os atrasos de propagação dos FFs não são somados para ter o atraso final. Ao contrário, temos que o tempo de resposta de um contador síncrono é o tempo de resposta de um FF para comutar mais o tempo para os novos níveis lógicos se propagarem pela portas lógicas para atingir as entradas J e K. O atraso total dos FFs síncronos geralmente são menores que os FFs assíncronos, e eles podem trabalhar com frequências mais altas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 RELÓGIO DIGITAL SÍNCRONO

Como o diagrama de blocos 3.3 explica, teremos 6 contadores para mostrar as horas, minutos e segundos. Na lógica sequencial, precisamos construir tabelas verdades direcionando para onde nossos contadores irão e obteremos as suas simplificações. O relógio funcionará da seguinte forma; a cada final de sequência de um contador, será dado o clock para o contador seguinte, ou seja, quando a unidade de segundos estiver na transição de 9 para 0, a dezena de segundos irá começar a contar, e quando estiver em 59, ele dará o pulso de clock para a unidade de minutos e assim por diante, o único contador que possuirá um clock atuante a todo momento será o da unidade de segundos. Em baixo temos as tabelas verdades de 3 contadores que irão contar respectivamente de 0 a 9, 0 a 5 e 0 a 2. Com eles, podemos construir o relógio.

Figura 10 - Tabela verdade contador síncrono de 0 a 9

Caso	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	J_3	K_3	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0 - 1	0	0	0	0	0	X	0	X	0	X	1	X
1 - 2	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X	X	1
2 - 3	0	0	1	0	0	X	0	X	X	0	1	X
3 - 4	0	0	1	1	0	X	1	X	X	1	X	1
4 - 5	0	1	0	0	0	X	X	0	0	X	1	X
5 - 6	0	1	0	1	0	X	X	0	1	X	X	1
6 - 7	0	1	1	0	0	X	X	0	X	0	1	X

7 - 8	0	1	1	1	1	X	X	1	X	1	X	1
8 - 9	1	0	0	0	X	0	0	X	0	X	1	X
9 - 0	1	0	0	1	X	1	0	X	0	X	X	1

FONTE: Autor do Trabalho

J_3

0	0	0	0
0	0	1	0
X	X	X	X
X	X	X	X

$$J_3 = Q_2 Q_1 Q_0$$

K_3

X	X	X	X
X	X	X	X
X	X	X	X
0	1	X	X

$$K_3 = Q_0$$

J_2

0	0	1	0
X	X	X	X
X	X	X	X
0	0	X	X

$$J_2 = Q_1 Q_0$$

K_2

X	X	X	X
0	0	1	0
X	X	X	X
X	X	X	X

$$K_2 = Q_2 Q_1 Q_0$$

J_1

0	1	X	X
0	1	X	X
X	X	X	X
0	0	X	X

$$J_1 = \overline{Q_3} Q_0$$

K_1

X	X	1	0
X	X	1	0
X	X	X	X
X	X	X	X

$$K_1 = Q_0$$

J_0				K_0			
1	X	X	1	X	1	1	X
1	X	X	1	X	1	1	X
X	X	X	X	X	X	X	X
1	X	X	X	X	1	X	1

$J_0 = 1$
 $K_0 = 1$

Figura 11 - Tabela verdade contador síncrono de 0 a 5

Caso	Q_1	Q_0	J_1	K_1	J_0	K_0
0 - 1	0	0	0	X	1	X
1 - 2	0	1	1	X	X	1
2 - 0	1	0	X	1	0	X

FONTE: Autor do trabalho

J_1		K_1		J_0		K_1	
0	1	X	X	1	X	0	1
X	X	1	X	0	X	X	X

$J_1 = Q_0$
 $K_1 = 1$
 $J_0 = \overline{Q_1}$
 $K_0 = 1$

Figura 12 - Tabela verdade contador síncrono de 0 a 2

Caso	Q_1	Q_0	J_1	K_1	J_0	K_0
0 - 1	0	0	0	X	1	X
1 - 2	0	1	1	X	X	1
2 - 0	1	0	X	1	0	X

FONTE: Autor do trabalho

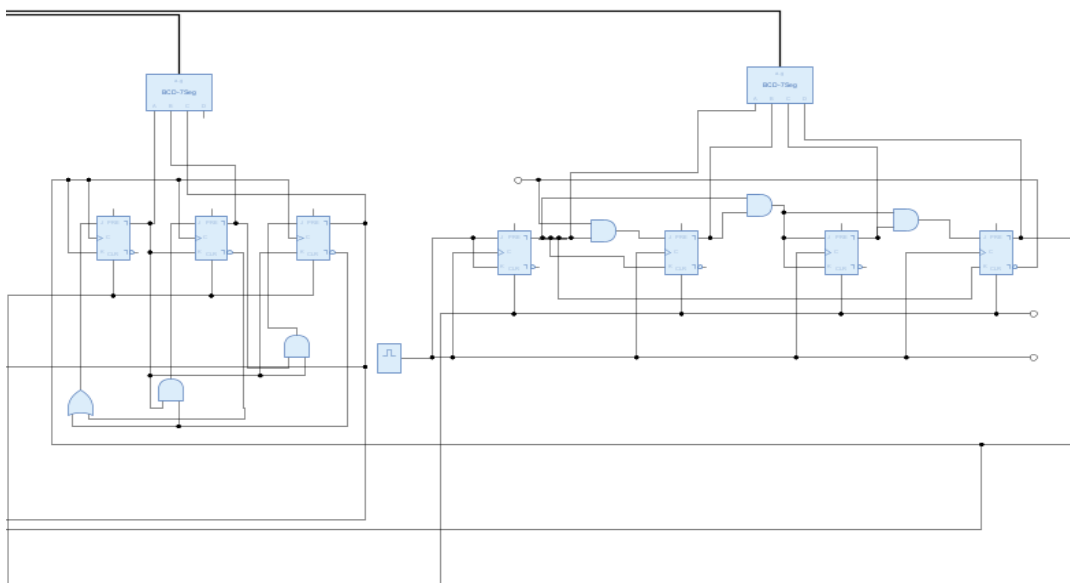
$$\begin{array}{cc} J_1 & K_1 \\ \begin{array}{|c|c|} \hline 0 & 1 \\ \hline X & X \\ \hline \end{array} & \begin{array}{|c|c|} \hline X & X \\ \hline 1 & X \\ \hline \end{array} \\ \\ J_0 & K_0 \\ \begin{array}{|c|c|} \hline 0 & 1 \\ \hline X & X \\ \hline \end{array} & \begin{array}{|c|c|} \hline 0 & 1 \\ \hline X & X \\ \hline \end{array} \end{array}$$

$$J_1 = Q_0 \quad K_1 = 1 \quad J_0 = \overline{Q_1} \quad K_0 = 1$$

Relógio dos Segundos

A contador à direita representa a unidade de segundos, e quando ele chega a 9, dá um pulso de clock para a dezena de segundos, que também, quando chegar no 5 e receber o pulso de clock da unidade de segundos, ele irá zerar e dará o clock para a unidade de minutos.

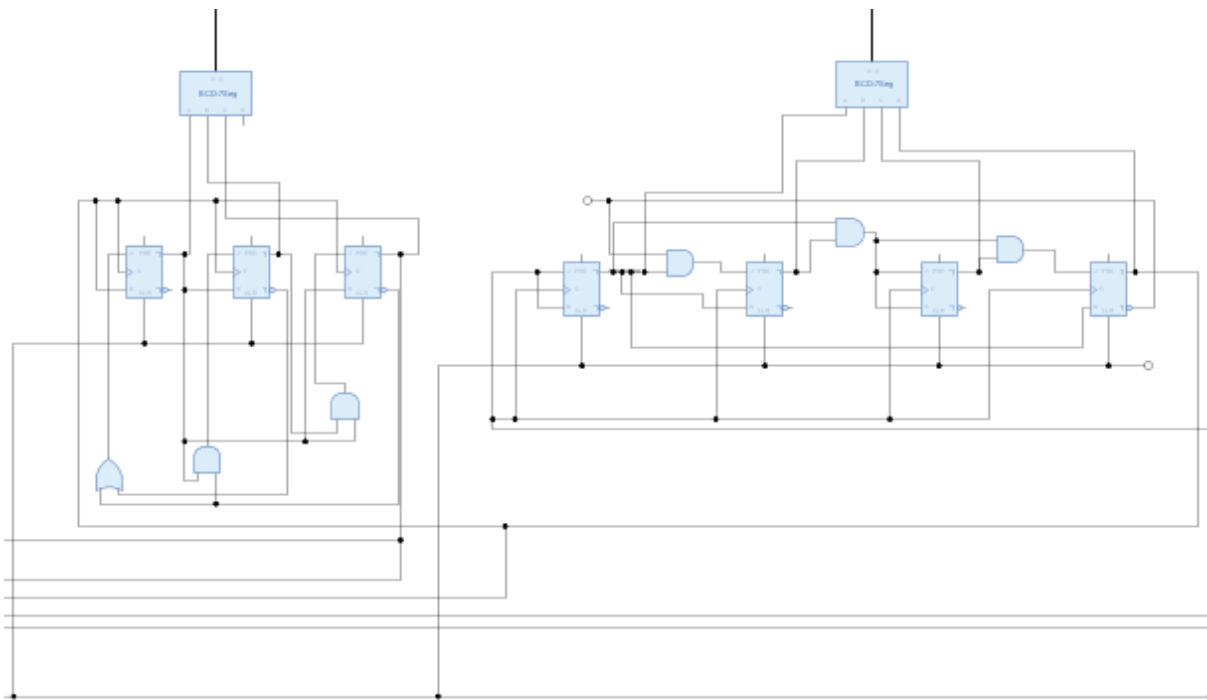
Figura 13 - Relógio Contador de Segundos



Relógio dos Minutos

Por sua vez, os minutos seguiram a mesma lógica, ou seja, quando a unidade de minutos chegar a 9, ele dará um pulso de clock para a dezena de minutos que quando chegar em 5, iniciará a unidade de horas.

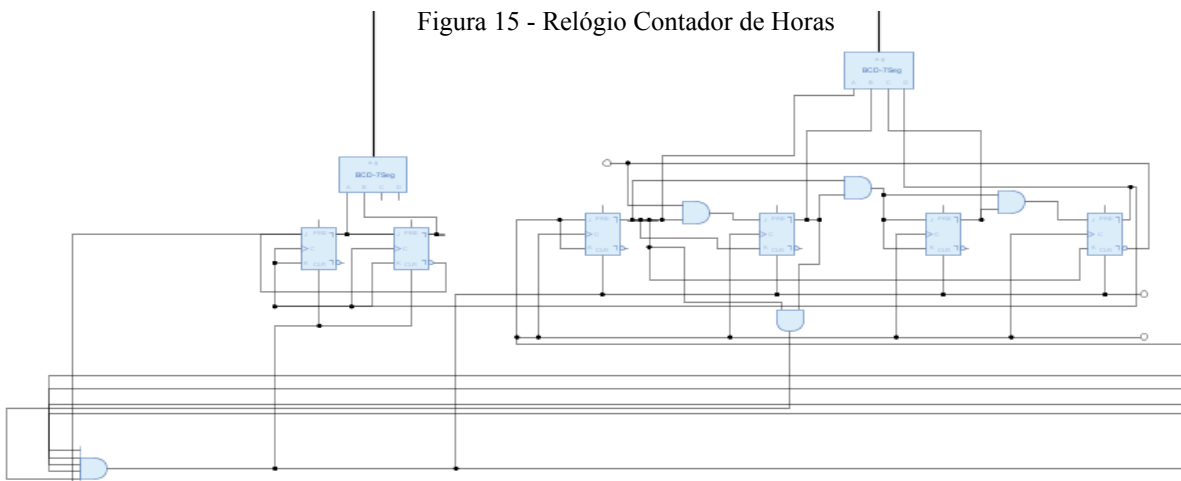
Figura 14 - Relógio Contador de Minutos



Relógio das Horas

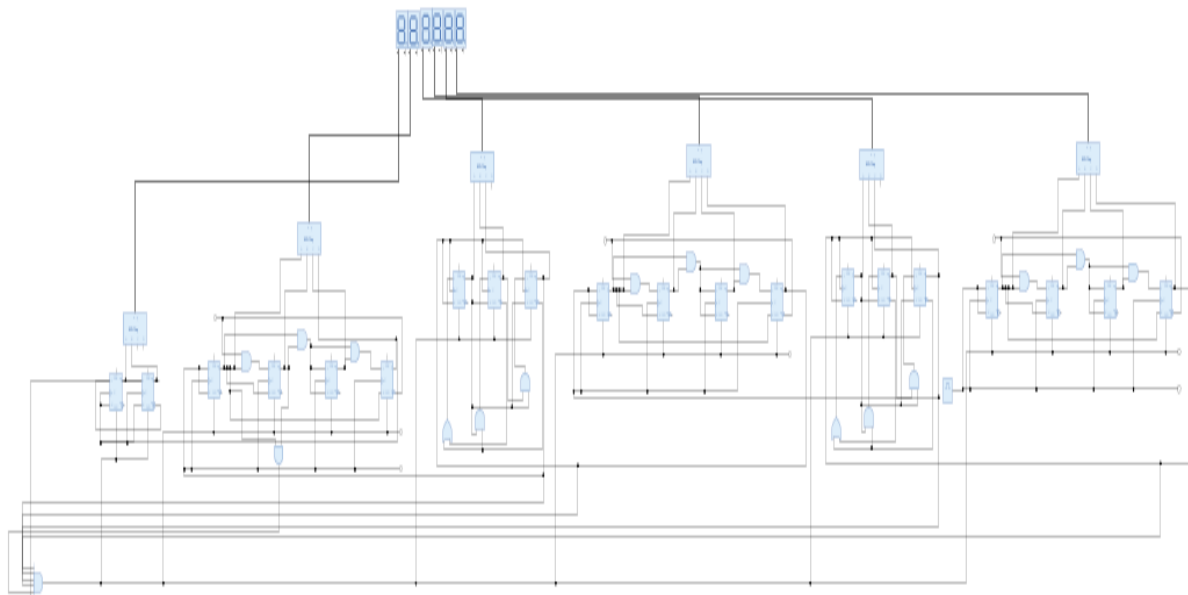
As horas, diferente de minutos e segundos, é composto de dois contadores que vão respectivamente de 0 a 9 e 0 a 2, assim possibilitando que contemos até 29:59:59. A porta AND conecta as saídas que geram a hora 23:59:59 e é ligada no clear de todos os flip flops, visto que, se não utilizássemos ela, o nosso relógio iria contar até 29:59:59. Assim conseguimos construir nosso relógio digital síncrono.

Figura 15 - Relógio Contador de Horas



Circuito Completo do Relógio Síncrono

Figura 16 - Circuito Completo



Para acessar o circuito síncrono completo acesse :

https://github.com/kollhall/Relogio_Digital_Sincrono_Para_Simulacao_No_Antares

4.2 RELÓGIO DIGITAL ASSÍNCRONO

Baseando-se na figura trazida no item 3.3, nosso circuito terá de acender seis displays de 7 segmentos para que o relógio tenha a capacidade de apresentar os valores obtidos, nas notações de horas, minutos e segundos. Para realização desta tarefa utilizamos 6 blocos contadores, alguns com capacidades de contagem únicas, que serão demonstradas nos itens a seguir.

Tabela verdade para o contador Assíncrono 0 - 9

Caso	T1	T2	T3	T4	Q3	Q2	Q1	Q0
0	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	1
2	1	1	1	1	0	0	1	0
3	1	1	1	1	0	0	1	1
4	1	1	1	1	0	1	0	0
5	1	1	1	1	0	1	0	1
6	1	1	1	1	0	1	1	0
7	1	1	1	1	0	1	1	1

8	1	1	1	1	1	0	0	0
9	1	1	1	1	1	0	0	1
10	1	1	1	1	1	0	1	0

Algo que pode ser observado na tabela verdade anterior é que todos os casos do circuito estão contidos nela, em resumo, as tabelas verdades dos contadores (0 - 2), (0 - 4), (0 - 5) também podem ser obtidas através da mesma, basta selecionar os casos desejados. Outra informação importante contida na tabela é o fato de que todas as expressões lógicas dos Flips Flops T serão iguais a 1, pois em sua totalidade os inputs serão 1.

Relógio dos Segundos

O bloco contador de segundos, representado pela figura abaixo tem a capacidade de contar do número zero até o número sessenta, sendo que na transição de amostragem nos displays, o mesmo não apresenta os valores referentes, pois concretizando a contagem é aplicada uma condicional que utiliza duas portas AND, para receber o valor advindo das dezenas 110 (cinco em binário) e das unidades 1010 (dez em binário), quando os flip flops assumem esses valores um pulso de clear é gerado zerando ambos os circuitos. Vale ressaltar que a cada vez que o circuito responsável por às unidades de segundos chegar ao estado 1010 ele irá receber um pulso clear zerando - o quase que instantaneamente. Uma característica trazida pelo circuito assíncrono será o pulso clock do contador de dezenas, cada vez que a parte responsável pelas unidades chega ao estado 1010 um pulso de clock será liberado na contagem de dezenas de segundo.

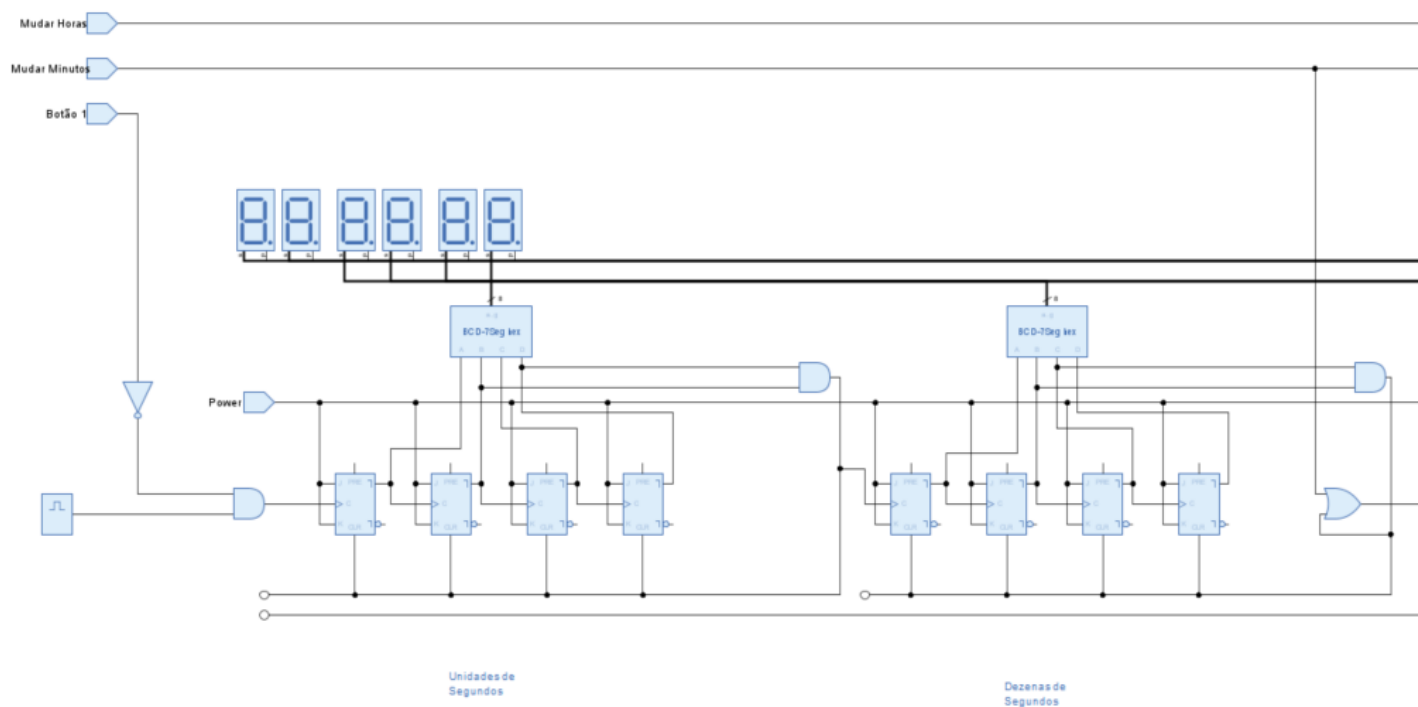


Figura 17 - Relógio Contador de Segundos

Relógio dos Minutos

O bloco contador de minutos representado pela figura abaixo, traz em sua estrutura o mesmo princípio aplicado aos segundos, a diferença existente se faz no pulso de clock que traz movimentações a esse circuito, pois a condicional de que zera o circuito anterior, ou seja, quando o bloco dos segundos atinge o número 60 gerando o pulso de clock que dá início a contagem de minutos, que se prossegue até este bloco alcançar a contagem de 60 onde outro pulso clear é gerado zerando o mesmo.

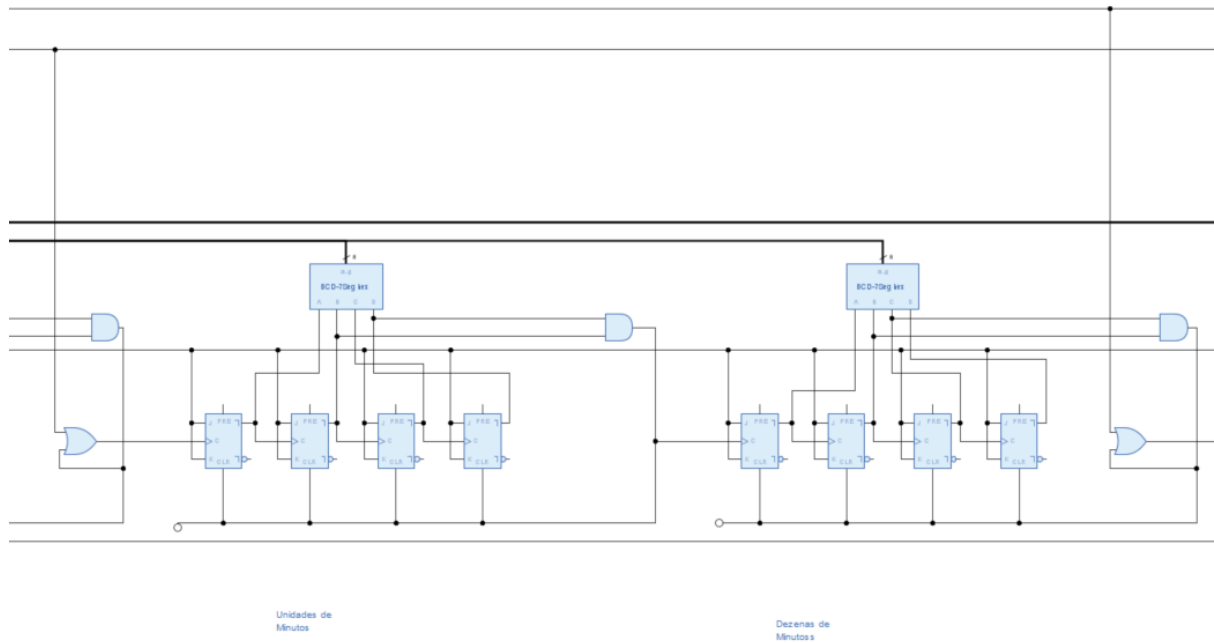


Figura 18 - Relógio Contador de Minutos

Relógio das Horas

O bloco contador de horas, recebe com clock inicial a condicional atribuída ao pulso clear dos minutos, ou seja, quando o bloco dos minutos chega aos 60, um pulso de clock é gerado no bloco de horas. As condicionais relacionadas ao clear deste bloco, vinculam alguns estados para o seu acionamento. a parte de unidades é zerada quando chega ao estado 1010 ou quando a dezena chegam ao estado 10 e o estado do circuito de unidades chegar a 100, em resumo quando o bloco contador de horas chegar até o número 24.

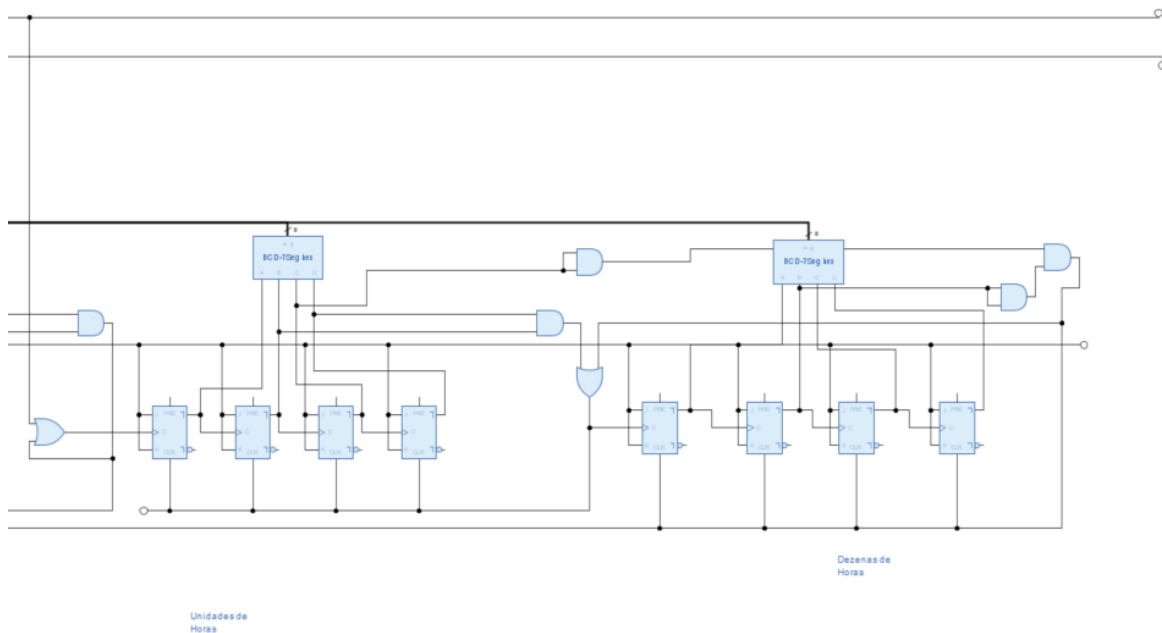
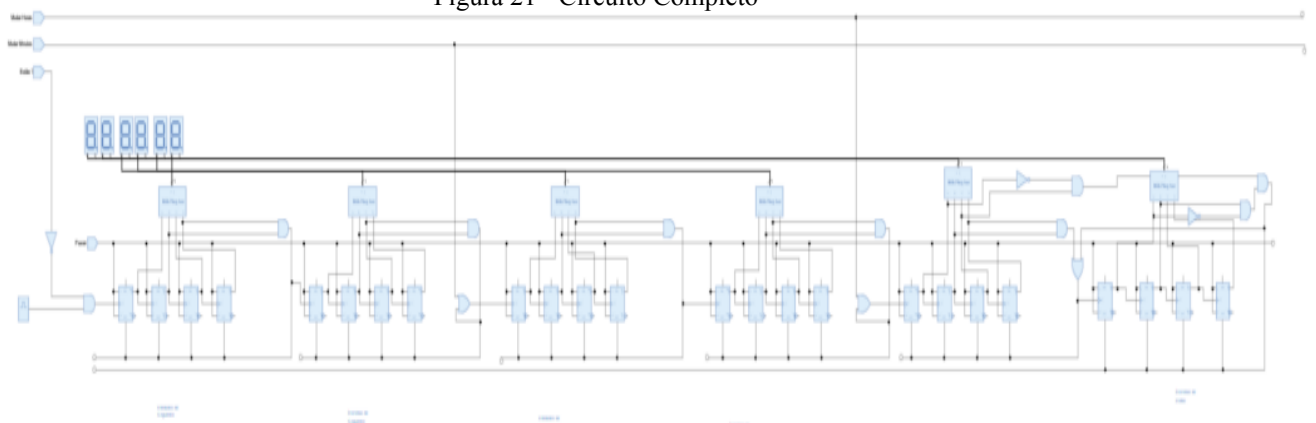


Figura 19 - Relógio Contador de Horas

Circuito Completo do Relógio Assíncrono Com Início Definido

O circuito construído possui a capacidade de uma predefinição de horário inicial, para isto está atrelado ao clocks dos blocos contadores de minutos e horas, uma porta OR que recebe respectivamente como entradas um pulso de clock e um input denominado de Mudar Minutos e Mudar Horas, na opção de alterar minutos caso eu gere o valor 1, um novo pulso de clock é gerado nos minutos, acelerando a sua contagem em uma unidade de medida, de mesmo modo funciona o segundo input, que está atrelado a porta OR que gerencia o pulso de clock das horas. Outro botão vinculado ao circuito é o representado pelo input Power seguido de uma porta inversora (NOT), que por estar atrelado a uma porta AND junto ao primeiro clock possui a capacidade de pausar o circuito inteiro, pois se ambos os valores não forem igual a 1, a porta AND retornará o valor 0, que por sua vez será invalido para a contagem do nosso circuito.

Figura 21 - Circuito Completo



Para acessar o circuito assíncrono completo acesse :

<https://github.com/WesleyUlisses/Circuito-Assincrono-Relogio-Digital---Simula-o-Antares>

5. CONCLUSÃO

Por fim, conseguimos criar dois relógios digitais, sendo um síncrono e outro assíncrono respectivamente, e com eles comprovamos nosso conhecimento obtido em sala de aula. Porém, não conseguimos alcançar o objetivo específico de encontrar algum atraso de propagação considerável em nossos contadores, visto que, precisávamos de uma alta frequência para gerar isso, entretanto, o simulador Antares não possui frequências que nos possibilite isso. Portanto, como trabalho futuro, seria interessante usarmos outro simulador de circuitos digitais com maior capacidade, para tentarmos tornar o atraso de propagação visível.

Podemos concluir também sobre os circuitos assíncronos, que são bastante efetivos quando se trata de divisores de frequências exatos, porém essa virtude pode se tornar um pesadelo ao tratar com valores inexatos de frequência. Ao executarmos o mesmo com frequências superiores, a calibração perpassa pela inserção de mais blocos divisores, o que por sua vez passa a não ser interessante para várias aplicações com clocks instáveis, pois gera falta de exatidão nos resultados procurados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TOCCI, Ronald J. *et al.* **Sistemas digitais: princípios e aplicações**. 11 ed. São Paulo: Pearson, f. 402, 2011. 804 p.

CAPUANO, Francisco G.; IDOETA, Ivan Valeije. **Elementos de Eletrônica Digital**. 40ª ed. São Paulo: Érica. 544 p.

FLOYD, Thomas. **Sistemas Digitais: Fundamentos e Aplicações**. 9ª ed. São Paulo: Artmed, 2007. 888 p.