



Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Tecnologia - CT
Curso de Ciências e Tecnologia

Máquina de Vendas

ELE2715 - Laboratório 11

Isaac de Lyra Junior

Natal
11 de abril de 2021

Resumo

O presente relatório tem por fim apresentar a implementação de uma máquina de vendas. A máquina deve ser capaz de receber dois valores $\mathbf{A}[3:0]$ e $\mathbf{S}[3:0]$, que correspondem ao valor da moeda inserida na máquina e o valor do produto, respectivamente, como também uma entrada que indica quando uma moeda foi inserida na máquina ($c=1$). A partir destes valores é definido ao final uma saída para indicar quando o produto é liberado ($d=1$) da máquina.

Palavras-chave: Projeto RTL; Máquina de Estados Finitos; Registradores; Circuitos Digitais.

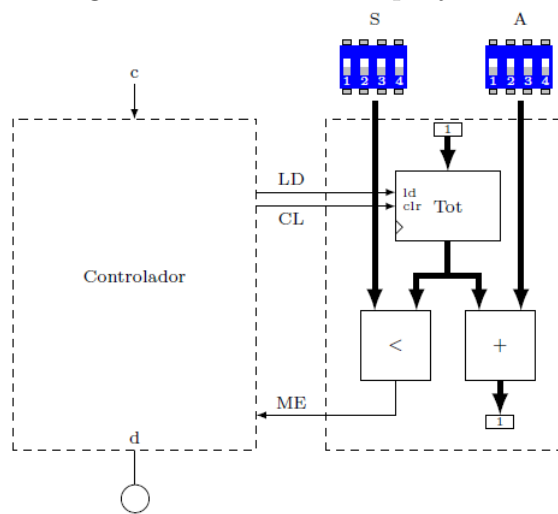
Sumário

1	Desenvolvimento	3
1.1	Máquina de estados de alto nível	3
1.2	Máquina de estados finitos do bloco de controle	4
2	Resultados	6
2.1	Bloco de controle	6
2.2	Bloco Operacional	7
3	Conclusão	8
	Referências	9
A	Esquemático do circuito implementado no Proteus	10

1 Desenvolvimento

A problemática do laboratório consiste na implementação de um circuito lógico para uma máquina de vendas. A máquina possui duas entradas de dados, que correspondem ao valor da moeda inserida ($A[3:0]$) e ao valor do produto ($S[3:0]$). Além disso, a máquina ainda possui uma entrada para indicar quando uma moeda foi inserida ($c=1$) e uma saída para ($d=1$) para liberação do produto. Na Figura 1 é possível ver o esquemático do circuito a ser projetado, percebe-se que trata-se de um processador e que já foi dado na atividade o bloco operacional, bem como suas entradas e saídas de comunicação com o controlador, restando apenas a implementação do bloco de controle.

Figura 1: Circuito a ser projetado



Fonte: Dados da atividade (2021).

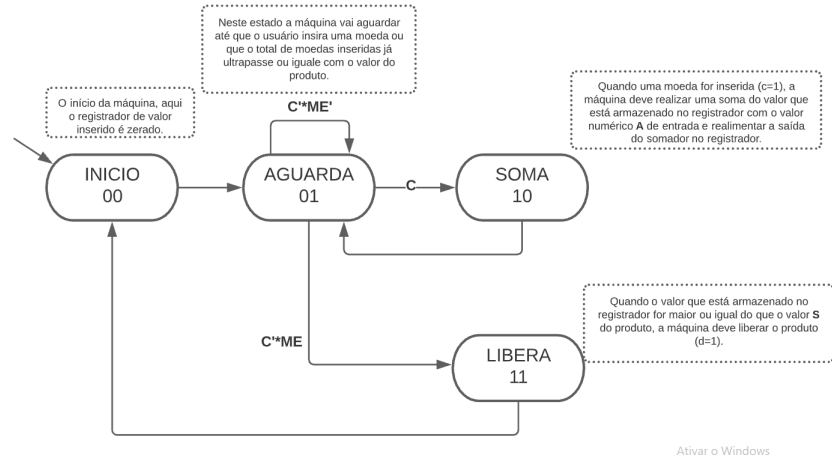
Para a resolução do problema foi utilizado o método mais comum para projetos de processadores, denominado de projeto em nível de transferência entre registradores (Register Transfer Level), que consiste na especificação dos registradores de um circuito, descrição das possíveis transferências e operações a serem realizadas com os dados de entrada, de saída e dos registradores e definição do controle que especifica quando transferir e operar com os dados (VAHID, 2009).

Na prática, o Projeto RTL é realizado utilizando uma gama variedade de métodos, mas é bastante útil a definição de um método geral. Tal método, segundo Vahid (2009), consiste em uma sequência de passos, onde o primeiro passo é capturar o comportamento desejado, e os demais fazem a conversão deste comportamento em um circuito.

1.1 Máquina de estados de alto nível

O primeiro passo então é capturar o comportamento que nossa máquina de vendas deve ter, para isto, é feito a elaboração de uma máquina de estados alto nível que define quantos estados e como a máquina deve se comportar em cada um destes. Para solucionar o problema a máquina de alto nível pensada possui 4 estados, sendo eles de início, espera, soma e liberação do produto. O resultado da máquina pode ser visto na Figura 2, tal figura também mostra o que a máquina deve realizar em cada estado.

Figura 2: Máquina de estados de alto nível



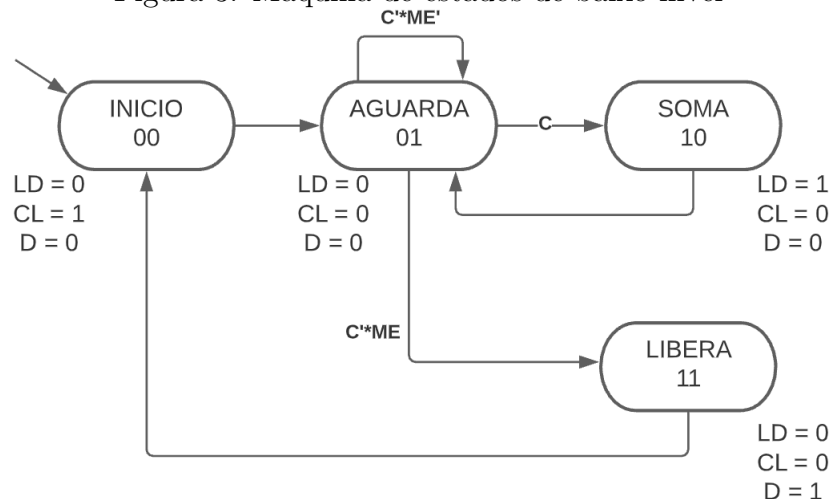
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

1.2 Máquina de estados finitos do bloco de controle

No projeto RTL, é comum que, após a captura do comportamento desejado de uma máquina, seja pensado o bloco operacional, porém, como este bloco e seus componentes, bem como as suas conexões com o bloco de controle já foi dado na atividade, foi possível adiantar para a implementação de máquina de estados finitos do bloco de controle.

O modelo de máquina desta solução foi do tipo Moore, assim, para a implementação da máquina de estados finitos do bloco de controle foi pensado primeiramente no diagrama de estados de uma máquina de estados de baixo nível, onde é definido as saídas do bloco de controle para cada estado de nossa máquina, o resultado é visto na Figura 3.

Figura 3: Máquina de estados de baixo nível



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Seguindo adiante, o próximo passo foi converter o diagrama visto na Figura 3 em uma tabela de transição de estados, isso é importante para que possamos definir a lógica combinacional do controlador para que ele possa gerar as saídas com relação as entradas

e também ao estado atual. A tabela de transição de estados resultante é vista na Figura 4.

Figura 4: Tabela de transição de estados

ESTADOS	ENTRADAS				ESTADOS	SAÍDAS				
	ESTADO ATUAL		C	ME		ESTADO FUTURO		LD	CL	D
	Q1	Q0				D1	D0			
INICIO	0	0	X	X	AGUARDA	0	1	0	1	0
	0	1	1	X	SOMA	1	0	0	0	0
AGUARDA	0	1	0	0	AGUARDA	0	1	0	0	0
	0	1	0	1	LIBERA	1	1	0	0	0
SOMA	1	0	X	X	AGUARDA	0	1	1	0	0
LIBERA	1	1	X	X	INICIO	0	0	0	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com a tabela de transição de estados foi possível definir todas as saídas de nosso bloco de controle, utilizando o conceito de mapas de Karnaugh para encontrar a lógica combinacional de cada saída do controlador. As equações booleanas encontradas podem ser vistas na Figura 5.

Figura 5: Lógica combinacional das saídas do bloco de controle

SAÍDAS	LÓGICA COMBINACIONAL
D1	$Q1' Q0 ME + Q1' Q0 C$
D0	$Q1' C' + Q0'$
LD	$Q1 Q0'$
CL	$Q1' Q0'$
D	$Q1 Q0$

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com a lógica combinacional do bloco de controle definida, foi possível realizar a implementação que será explicada na seção de Resultados. É importante citar que, por estamos lidando com circuitos sequenciais e clocks variados, a entrada que indica que uma moeda foi depositada ($c=1$), não pode ser um *pushbutton*, pois geraria uma série de erros caso o *clock* fosse alto demais, isso por que o usuário deveria apertar durante um pulso de *clock* apenas. Para solucionar isto, a entrada citada foi definida na máquina implementada como apenas uma entrada para um botão sincronizado, este botão vai ser responsável por pegar apenas um pulso de *clock*, e mesmo que o usuário permaneça com o botão pressionado, não irá interferir na realização correta do processo da máquina.

2 Resultados

Toda a implementação da máquina de vendas foi realizada utilizando o software Proteus em sua versão 8.9, utilizando os CIs comerciais disponíveis no mesmo, a relação de CIs pode ser vista na Tabela 1

Tabela 1: CIs comerciais utilizados na implementação

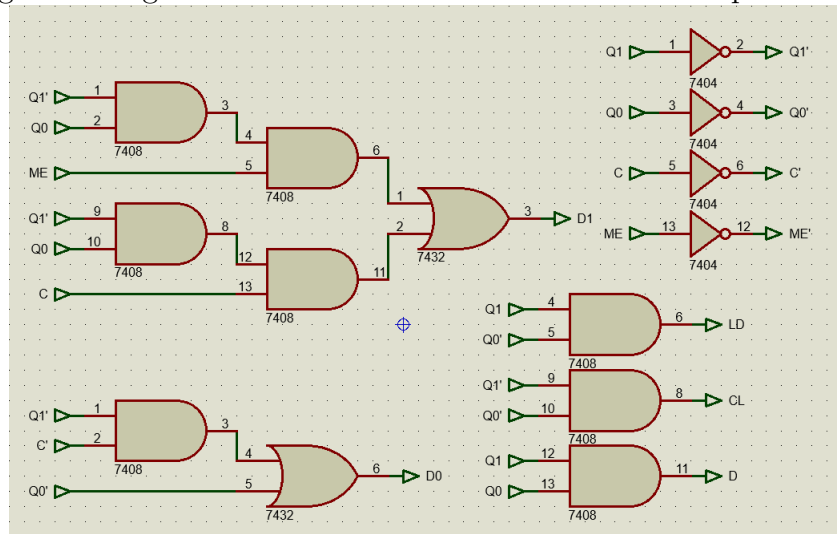
Função	CI Comercial
NOT	7404
AND[2]	7408
OR[2]	7432
SWITCH	DIP SWITCH 4 PIN
FLIP FLOP D	4013
COMPARADOR 4 BITS	74HC85
REGISTRADOR 4 BITS	74HC194

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.1 Bloco de controle

O primeiro passo foi implementar o subcircuito da lógica combinacional do bloco de controle definida na seção anterior, o resultado desta implementação pode ser visto na Figura 6.

Figura 6: Lógica combinacional do bloco de controle implementada

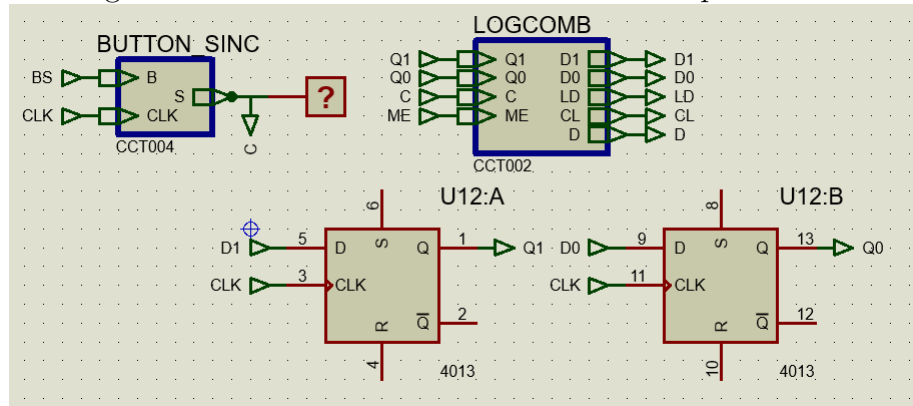


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida, o subcircuito da lógica combinacional do bloco de controle foi conectado a um registrador de estados de 2 bits de dimensão, como visto na Figura 7, repare também

que na figura aparece o subcircuito do botão síncrono, que foi implementado como sendo uma máquina de estados finitos auxiliar ao bloco de controle, pois sem este subcircuito não teríamos controle sobre a entrada que indica que o usuário inseriu uma moeda quando a máquina de vendas operasse em *clocks* altos. Para realização dos testes foi utilizado o *clock* de 10Hz, para melhor visualização do led acendendo ao liberar o produto, porém, como a máquina é do tipo Moore, nada impede de utilizar *clocks* maiores do que o utilizado durante os testes.

Figura 7: Subcircuito do bloco de controle implementado



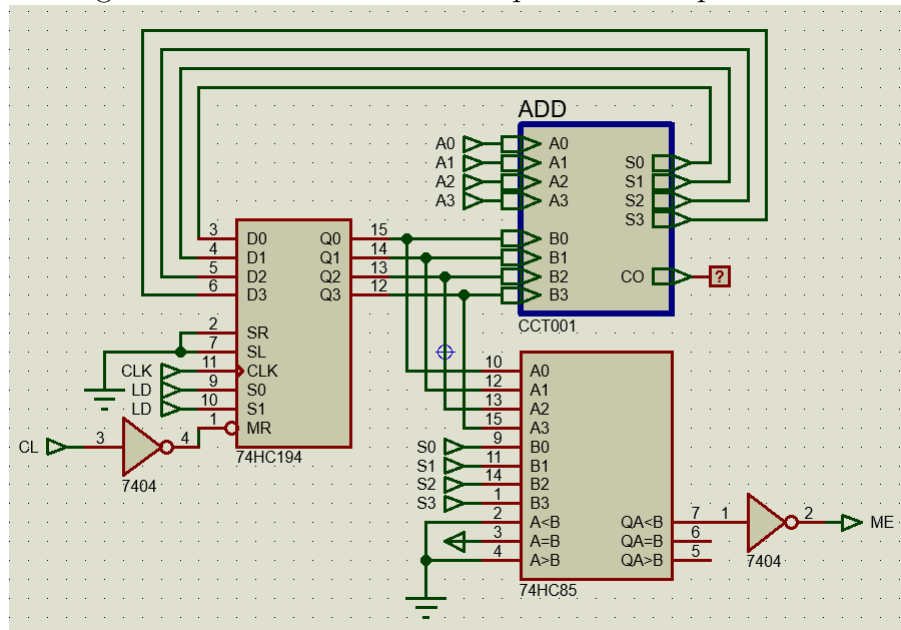
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.2 Bloco Operacional

O bloco operacional foi implementado seguindo fielmente o projeto dado na atividade, onde é utilizado um comparador de magnitude, um somador e um registrador, todos estes sendo de 4 bits cada. O comparador utilizado foi o 74HC85 e ele é responsável por entregar a saída **ME** do bloco operacional para o bloco de controle, sinalizando que o valor armazenado no registrador já é maior do que o valor do produto. O somador utilizado foi implementado utilizando um meio somador e três somadores completos em cascata, o circuito do somador foi denominado de **ADD**. Por fim, o o registrador de 4 bits utilizado foi o CI 74HC194, este, vai receber a entrada **LD** e **CL**, quando **LD**=1, indica que o registrador irá registrar o valor de saída do somador, repetindo este processo sempre que uma moeda for inserida na máquina de vendas. O resultado da implementação do bloco operacional pode ser vista na Figura 8.

O circuito como um todo, bem como todos os circuitos internos dos subcircuitos implementados podem ser vistos no Apêndice A.

Figura 8: Subcircuito do bloco operacional implementado



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3 Conclusão

O presente relatório teve por finalidade apresentar a solução para o problema de projetar uma máquina de vendas. Que pudesse receber dois valores em binário $A[3:0]$ e $S[3:0]$, que representam o valor de uma moeda e o valor do produto, uma entrada que indica se uma moeda foi inserida ($c=1$) e uma saída que indica que o produto foi liberado ($d=1$). Para solução deste problema foi utilizado o método de projeto Register Transfer Level(RTL), onde foi definido que a máquina de vendas possuirá quatro estados e definido as saídas em cada um dos estados. Por fim, foi possível implementar a lógica combinacional das saídas destes estados em um circuito e também simular por completo utilizando o software Proteus.

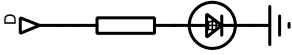
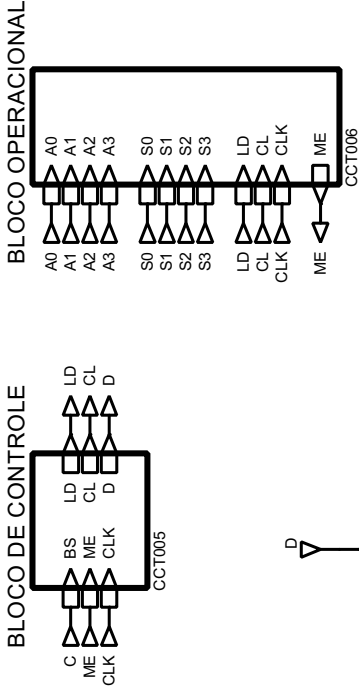
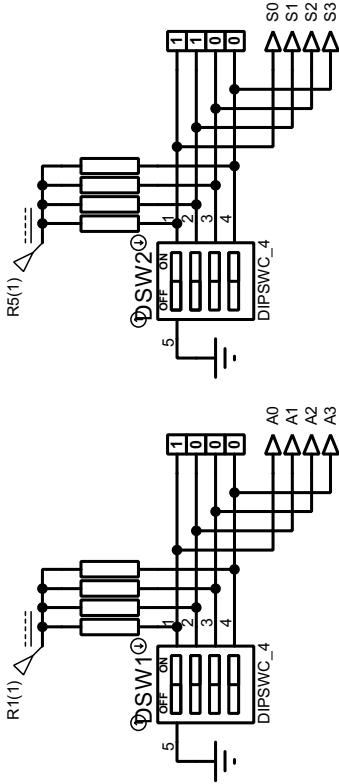
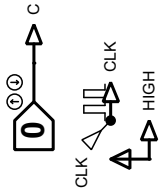
Referências

VAHID, F. *Sistemas Digitais: Projeto, Otimização e HDLs*. [S.l.]: Bookman Editora, 2009.

A Esquemático do circuito implementado no Proteus

CIRCUITO PRINCIPAL

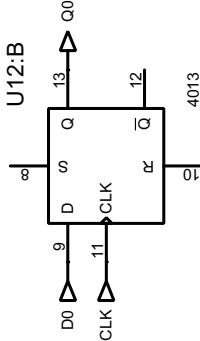
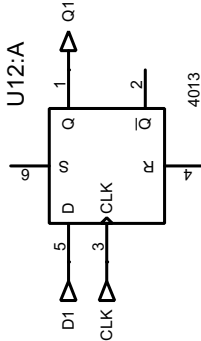
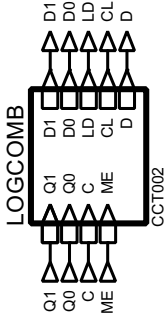
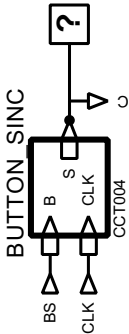
ENTRADAS



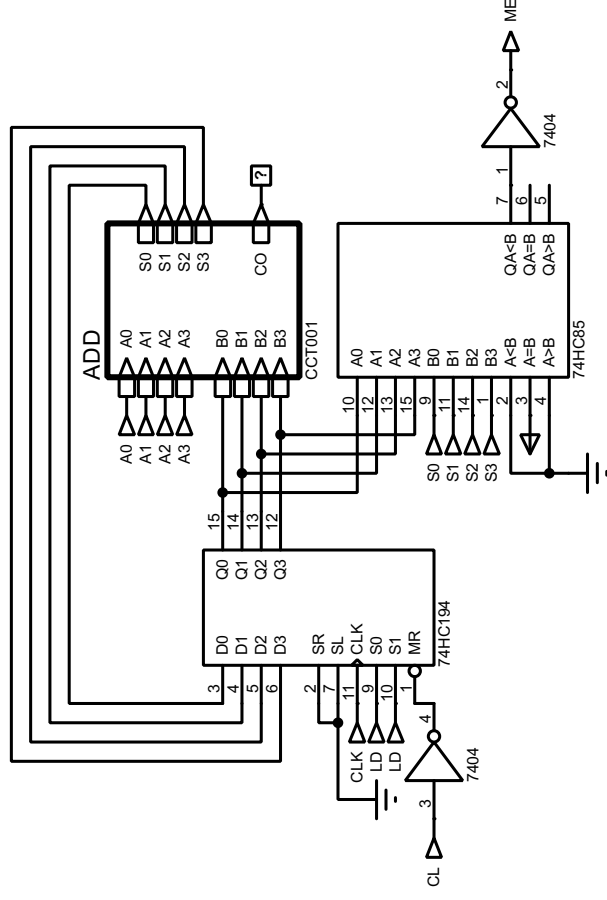
PROJETO: Máquina de Vendas
DISCENTE: Isaac de Lyra Junior
DOCENTE: Samaherni Moraes Dias
DISCIPLINA: Circuitos Digitais

DATA: 09/04/2021
PÁGINAS: 1 de 11
REV: 0

SUBCIRCUITO DO BLOCO DE CONTROLE



SUBCIRCUITO DO BLOCO OPERACIONAL

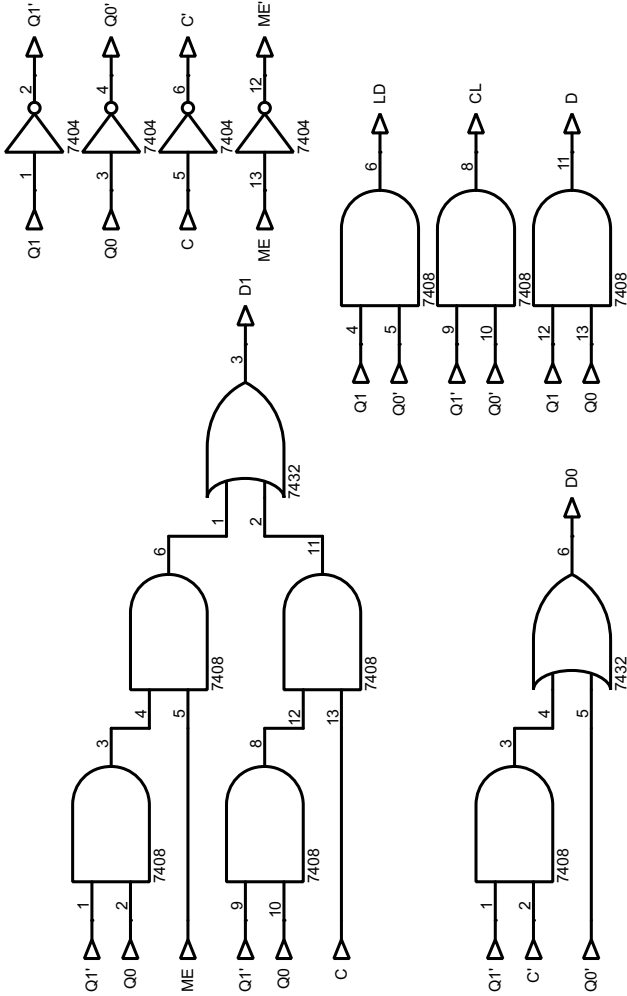


PROJETO: Máquina de Vendas
 DISCENTE: Isaac de Lyra Junior
 DOCENTE: Samahermi Morais Dias
 DISCIPLINA: Circuitos Digitais
 REV: 0

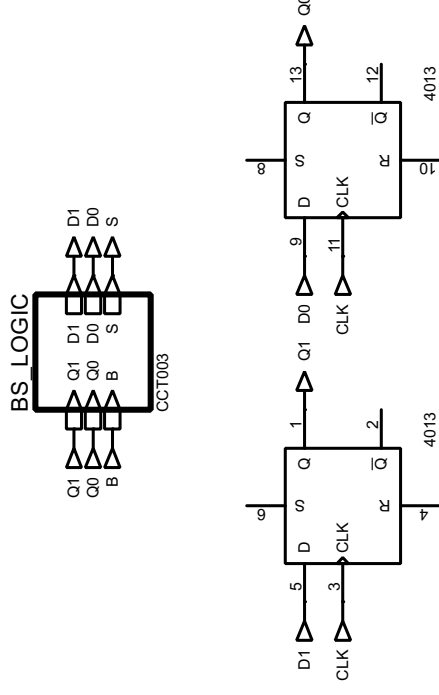
DATA:
 09/04/2021

PÁGINAS:
 3 de 11

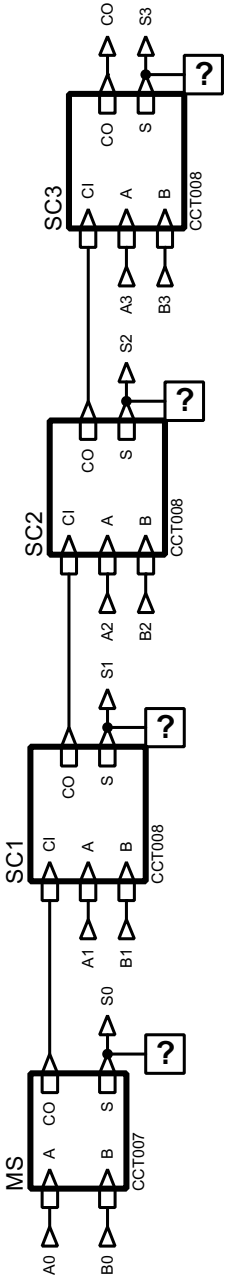
LÓGICA COMBINACIONAL DO BLOCO DE CONTROLE



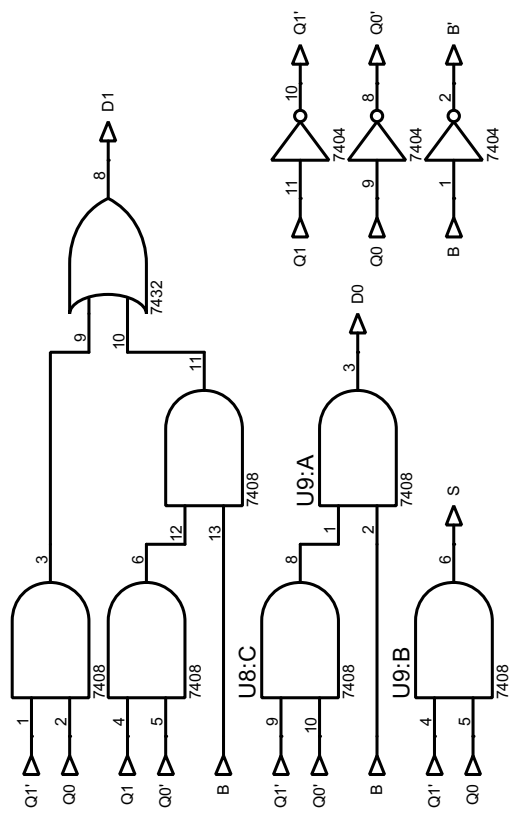
SUBCIRCUITO DO BOTÃO SINCRONIZADO



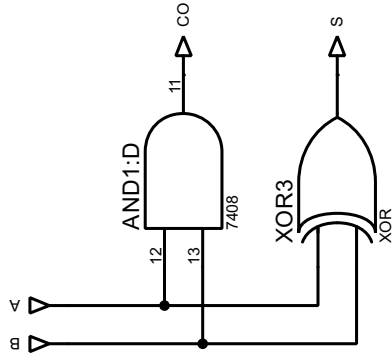
SUBCIRCUITO SOMADOR



LÓGICA COMBINACIONAL DO BOTÃO SINCRONIZADO



MEIO SOMADOR



PROJETO:
DISCENTE:
DOCENTE:
DISCIPLINA:

Máquina de Vendas
Isaac de Lyra Junior
Samaherni Morais Dias
Circuitos Digitais

REV: 0

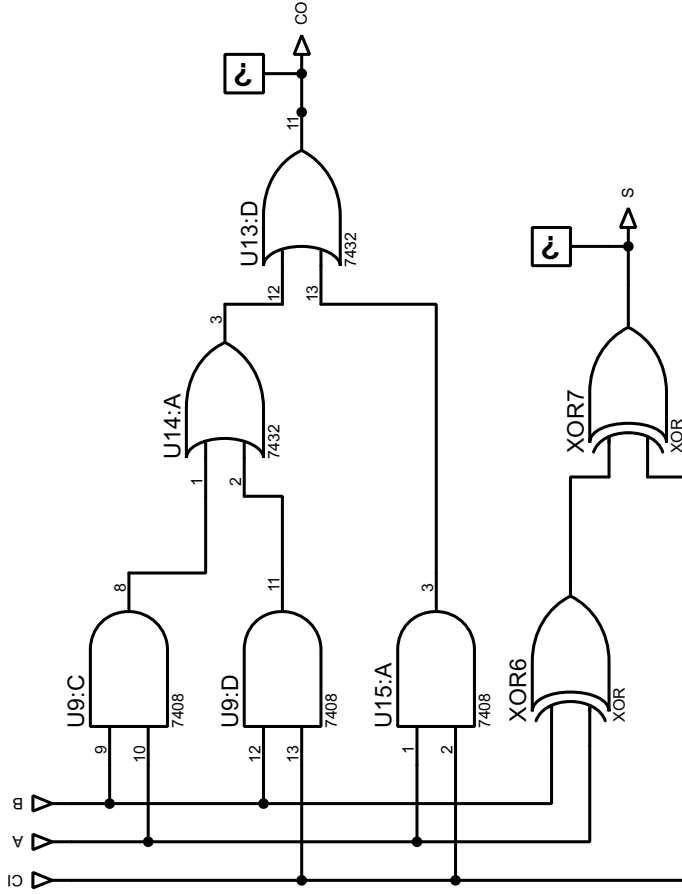
DATA:

09/04/2021

PÁGINAS:

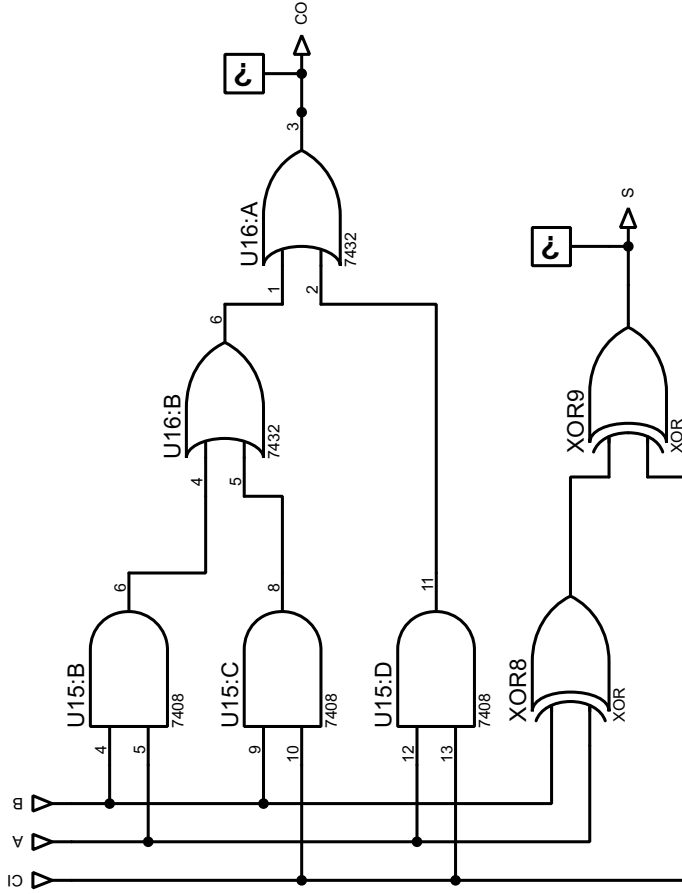
8 de 11

SOMADOR COMPLETO



PROJETO:	Máquina de Vendas	DATA:	09/04/2021
DISCENTE:	Isaac de Lyra Junior	PÁGINAS:	9 de 11
DOCENTE:	Samaherni Moraes Dias	REV:	0
DISCIPLINA:	Circuitos Digitais		

SOMADOR COMPLETO



SOMADOR COMPLETO

