

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E
SISTEMAS DIGITAIS
PCS3645 - LABORATÓRIO DIGITAL II



PLANEJAMENTO DA EXPERIÊNCIA 5

Felipe Luis Korbes - NUSP: 13682893
João Felipe de Souza Melo - NUSP: 13682913
João Felipe Pereira Carvalho - NUSP: 11808189

Turma: 5

Professor: Reginaldo Arakaki

São Paulo
2024

Sumário

1. Introdução e Objetivos.....	3
2. Planejamento.....	3
2.1 Atividade 1 – Projeto do Sistema de Sonar.....	3
2.2 Testes das modificações.....	4
2.3 Atividade 1 - O circuito do sonar.....	5
2.4 Atividade 2 – Planejamento da Execução Experimental.....	11
Validação do Funcionamento de Cada Módulo.....	14
2.5 Atividade 3 – Procedimento Experimental na Bancada do Laboratório.....	15
3. Relatório da experiência.....	16
3.1 Desafio.....	18
4. Conclusão.....	19

1. Introdução e Objetivos

Este experimento tem como objetivos aplicar um sensor ultrassônico e um servomotor para detecção e localização de objetos, utilizar comunicação serial para transmitir os dados coletados, desenvolver um circuito para varredura e detecção, implementar uma máquina de estados para controle, aprimorar projetos anteriores através de refatoração de código, criar circuitos de teste, realizar testes e implementar o sistema em uma placa FPGA.

2. Planejamento

2.1 Atividade 1 – Projeto do Sistema de Sonar

Abaixo está o pseudo-código do sonar que será implementado nesta experiência:

Pseudocódigo: Sistema de Sonar

Entradas: ligar, echo

Saídas: trigger, pwm, saida_serial, fim_posicao

```
1. loop infinito
2.   enquanto ligar = 0
3.     espera (sistema fica em espera até que o sinal "ligar" seja
acionado)
4.   fim enquanto

5.   inicie componentes internos (ativar timer, configurar comunicação
serial, etc.)
6.   posicionar servomotor em posição inicial (ângulo 0)

7.   faça enquanto ligar = 1
8.     enviar pulso no trigger para iniciar a medição de distância
9.     esperar por sinal echo para medir a distância ao objeto
(tempo do sinal echo reflete a distância)
10.    calcular a distância com base no tempo do echo
11.    formatar dados de ângulo e distância em "ângulo,distância#"
no formato ASCII
12.    transmitir dados via saida_serial (RS-232C, 701, 115200
bauds)
13.    mover servomotor para a próxima posição (incrementar ângulo)
14.    gerar pulso na saída fim_posicao (indicar que a medição foi
concluída)
15.    aguardar o término dos 2 segundos (esperar antes de iniciar
nova medição)
16.   fim enquanto

17. fim loop
```

Para os circuitos das experiências anteriores satisfazerem esse pseudo-código, é necessário realizar pequenas mudanças em seu circuitos, as mudanças foram propostas na apostila da experiência. O grupo implementou essas modificações e realizou os testes no modelsim.

2.2 Testes das modificações

Foram feitas as modificações nos arquivos do controle do servo motor, na transmissão serial e no controle do sensor de distância. Abaixo estão os testes realizados no ModelSim para cada caso.

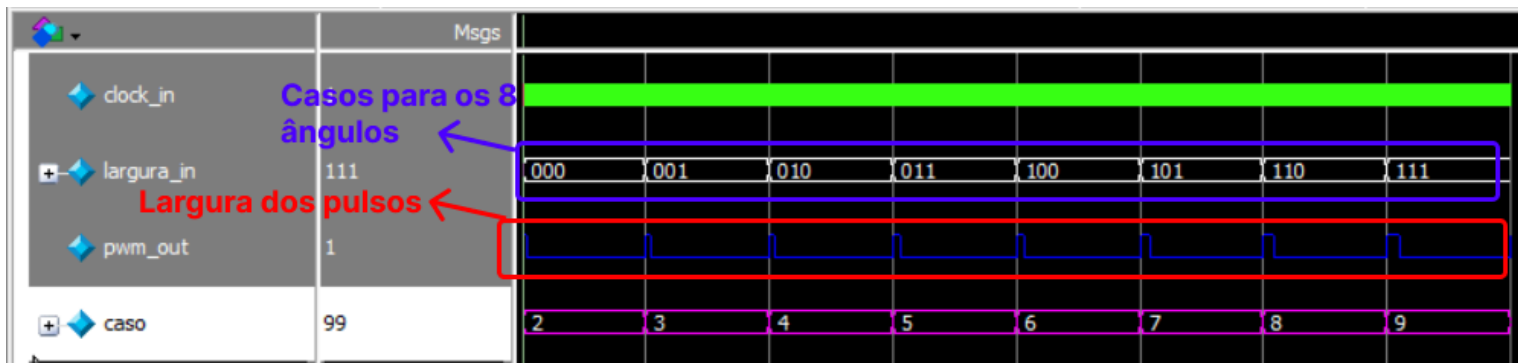


Figura 1 - Testes para o servo com modulação PWM

Observe que os pulsos na figura 1 aumentam cada vez mais com o caso, esse é o comportamento esperado do circuito, pois a angulação do servo motor estará aumentando.

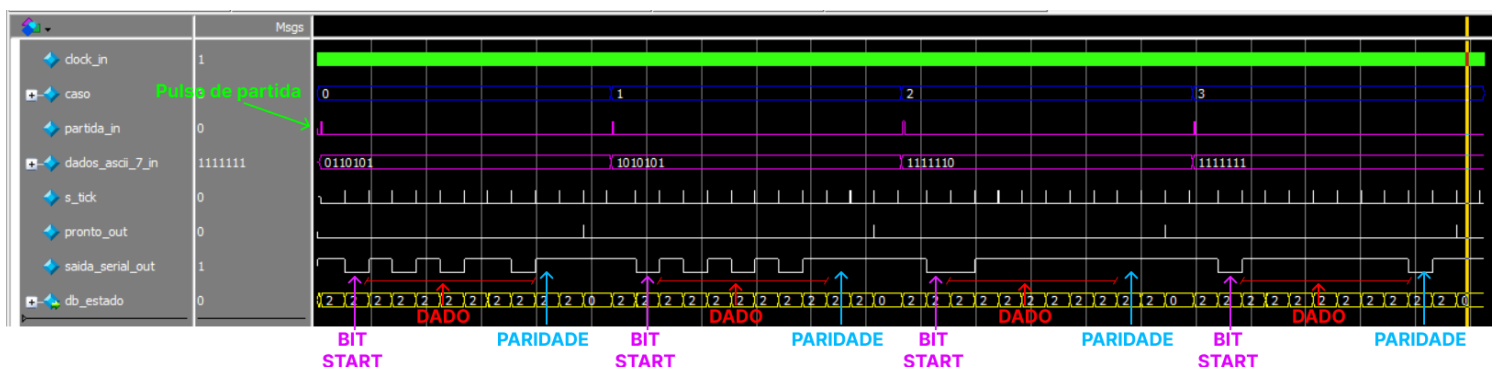


Figura 2 - Testes para a transmissão serial 7O1.

Observe que para a figura 2 a saída chamada *saida_serial_out* tem o comportamento esperado também. Inicialmente ocorre o start bit e depois é enviado o dado serialmente. Após isso é enviado o bit de paridade, o grupo optou por não representar o *stop bit* mas é possível observar que todo bit após o bit de paridade é HIGH.

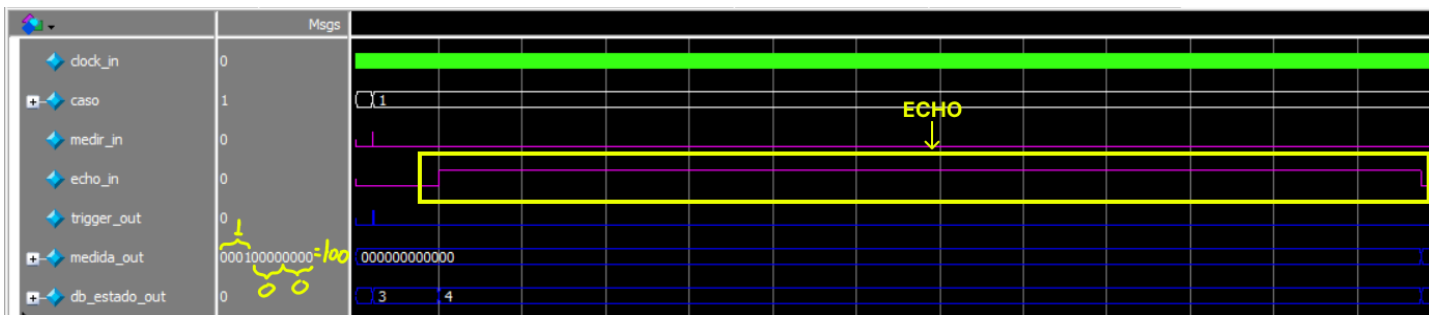


Figura 3 - Testes do sensor de medida para o caso de 100cm

O echo na figura 3 é de 5582 microssegundos, portanto, a medida é 100 cm como mostra a figura.

2.3 Atividade 1 - O circuito do sonar

Após as modificações e testes, eles foram conectados de forma a satisfazer o pseudo-código. Abaixo está o diagrama de blocos da experiência 5:

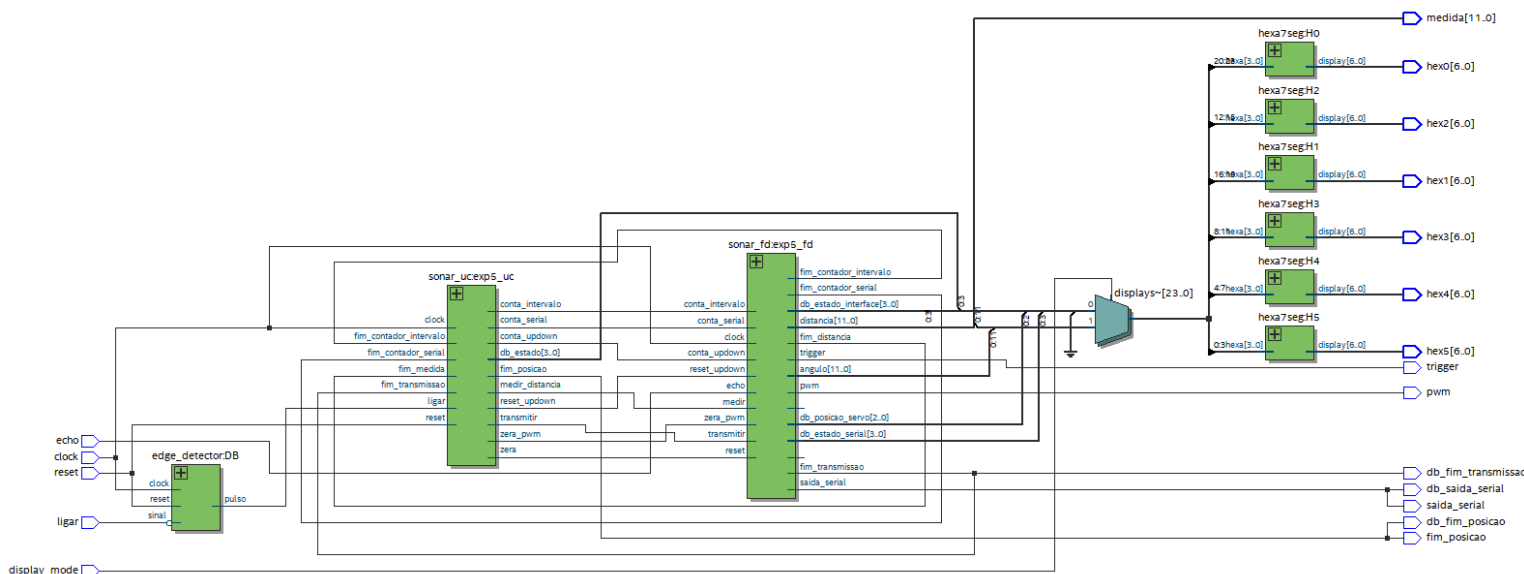


Figura 4 - Diagrama de blocos da experiência 5

Nos displays de 7 segmentos, implementamos uma lógica de multiplexação para exibir mais informações simultaneamente, permitindo visualizar valores de ângulo do servo motor, distância do sonar e outros dados. Um seletor controla o multiplexador: quando em 1, os displays 5, 4 e 3 mostram a distância vinda do sensor ultrassônico e os displays 2, 1 e 0 o ângulo do servo motor; quando em 0, o display 5 indica a posição do servo das 8 posições possíveis, e os displays 2, 1 e 0 apresentam os estados do sonar, da interface do sensor e da serial, respectivamente.

O fluxo de dados está abaixo:

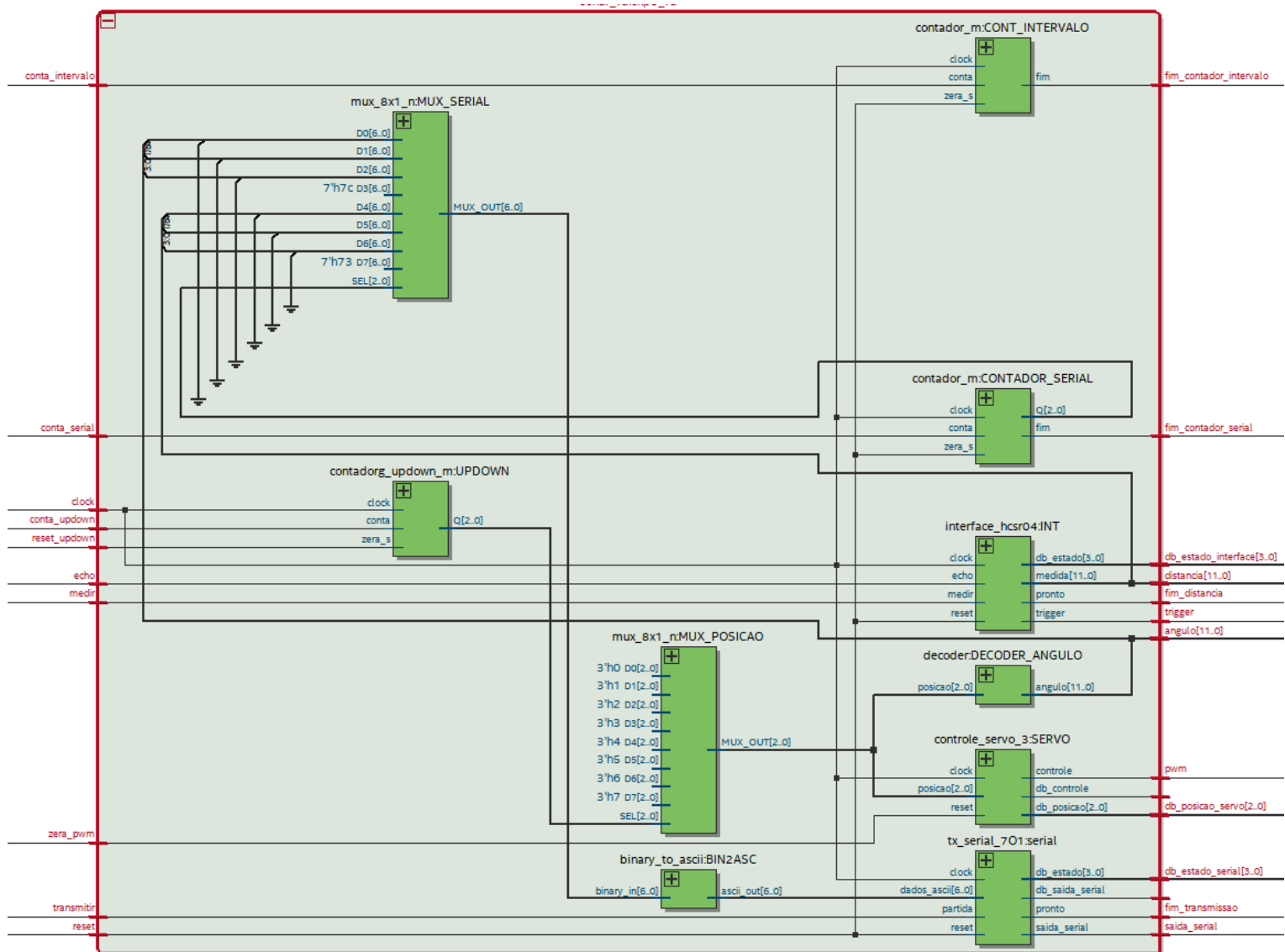


Figura 5 - Diagrama de blocos do fluxo de dados

No fluxo de dados, multiplexadores e contadores controlam a posição do servo motor e a ordem de transmissão dos dados seriais após cada medida. O contador up-down seleciona a saída do mux de posição, que contém as 8 posições do experimento, garantindo uma sequência crescente e decrescente. O contador serial, contando até 8, envia 3 dados ASCII para o ângulo do servo, uma vírgula, 3 dados para a distância do sonar e uma hashtag. Já o contador de tempo, chegando a 100 milhões (2 segundos com o clock da FPGA), sinaliza o intervalo para a medida ser feita e transmitida antes do próximo movimento do servo.

A unidade de controle está abaixo:

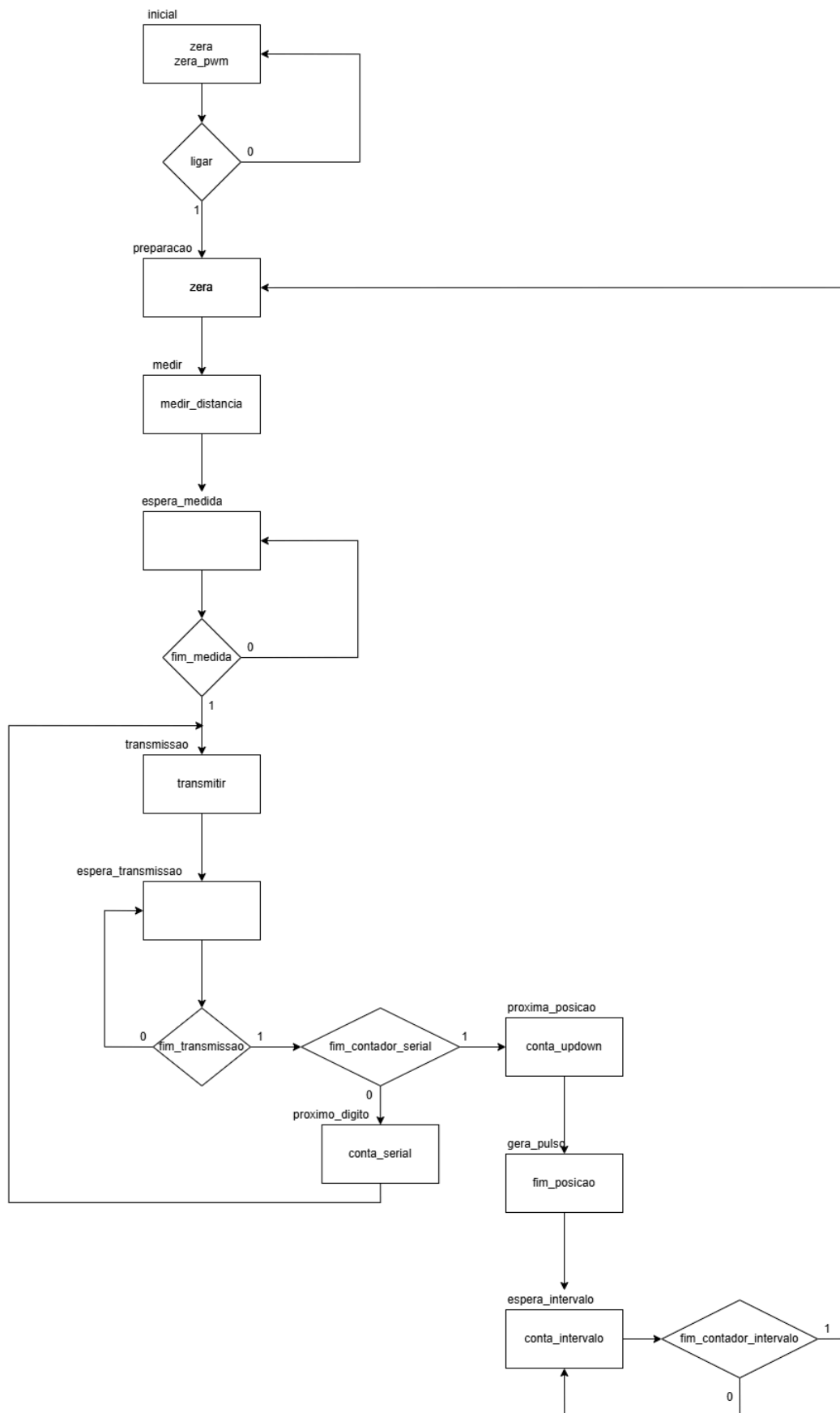


Figura 6 - ASM da Unidade de Controle da experiência 5

O diagrama de transição de estados gerado pelo quartus está abaixo:

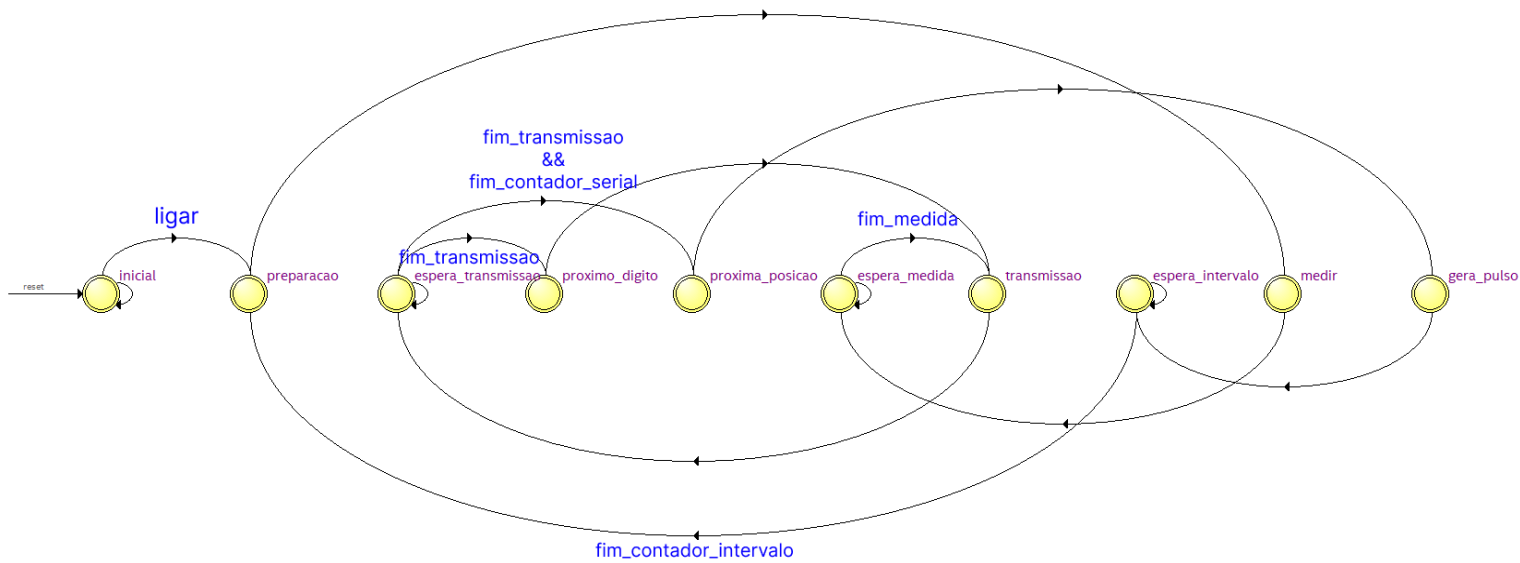


Figura 7 - Diagrama de transição de estados da experiência 5

Observe que no estado inicial da unidade de controle há um sinal de controle `zera_pwm` que é HIGH somente neste estado devido ao comportamento do módulo que gera o sinal pwm para controlar a angulação do servo motor.

O funcionamento do circuito foi testado e executado usando o ModelSim, as formas de onda do teste estão abaixo.

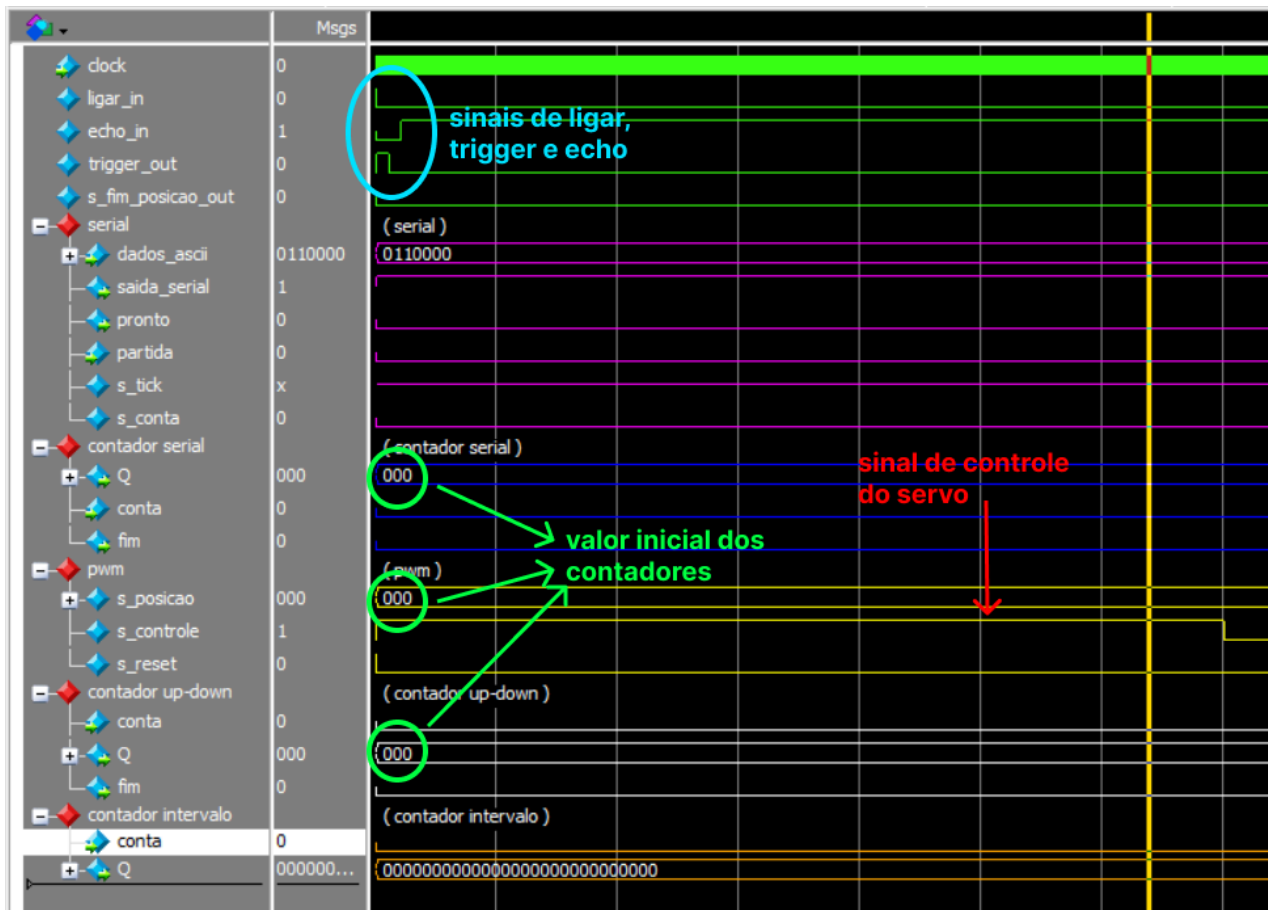


Figura 8 - Formas de onda do início do teste

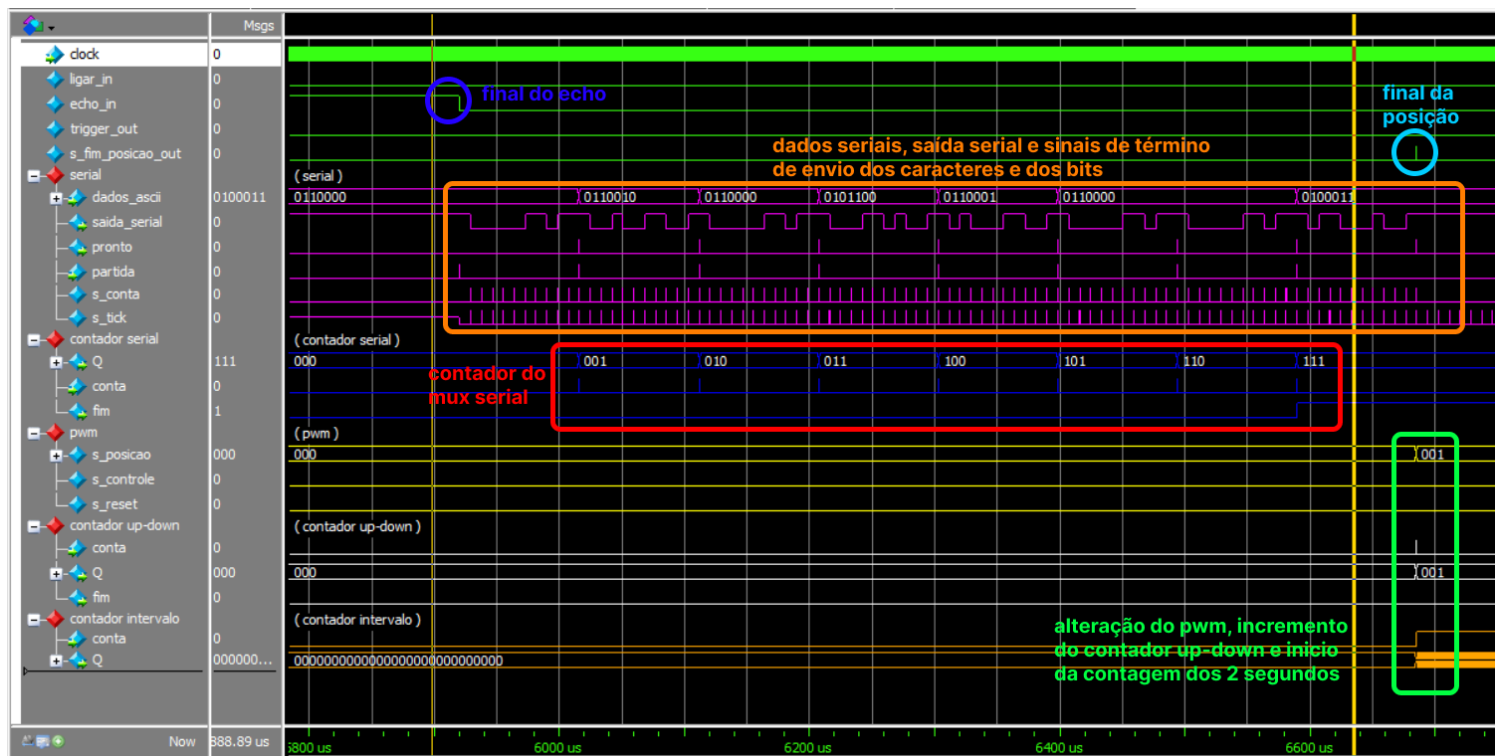


Figura 9 - Formas de onda da transmissão serial e mudança pra próxima posição

2.4 Atividade 2 – Planejamento da Execução Experimental

Como o sensor HC-SR04 opera com tensão de 5V e os pinos da placa FPGA funcionam em 3,3V, é necessário implementar uma interface para adequar os níveis de tensão entre os componentes, tanto de 5V para 3,3V, quanto de 3,3V para 5V. A transmissão serial também requer uma conversão de tensão, já que o sinal transmitido pelo computador tem um nível de 5V, sendo elevado para 12V na conexão do cabo serial, e, por fim, precisa ser reduzido para 3,3V na recepção pela FPGA. Para isso, foram selecionados dois componentes eletrônicos capazes de realizar a conversão de tensão.

O primeiro componente a ser usado será o **74HC4050**, um buffer de nível lógico utilizado para converter sinais de 5V para 3,3V, garantindo a compatibilidade entre o sensor HC-SR04 e a FPGA. Ele é essencial para evitar danos à FPGA e garantir que os sinais de controle e eco do sensor possam ser corretamente processados pela placa.

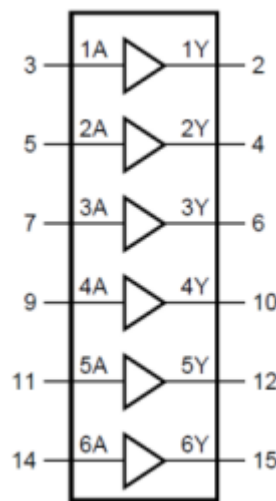


Figura 10 - Circuito integrado 74HC4050

O segundo componente será o **MAX3232**, responsável pela conversão de níveis TTL para RS-232, adaptando o sinal da porta serial para comunicação com a FPGA. Para tanto, será conectado o fio Rx do cabo serial na placa MAX3232 juntamente com o seu GND. Da parte da placa FPGA, será conectado a sua saída de 3,3V no VCC da placa MAX3232, juntamente com o GND da FPGA e a entrada Rd para transmissão serial.

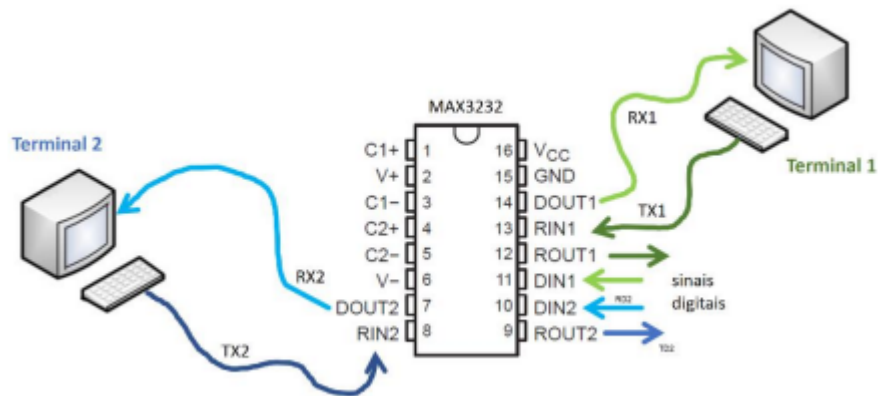


Figura 11 - Circuito integrado MAX3232

Após a montagem dos CIs, cada componente do circuito será testado individualmente para garantir o funcionamento adequado. O primeiro passo será realizar o loopback, verificando a transmissão serial utilizando o material disponível na bancada. Em seguida, procederemos com a montagem completa e realizaremos os testes com a FPGA. A pinagem a ser seguida está especificada na tabela abaixo:

Sinal	Pino da DE0-CV	Pino da FPGA	Analog Discovery
clock	clock CLK_50	PIN_M9	-
reset	chave SW0	PIN_U13	-
ligar	chave SW1	PIN_V13	-
display_mode	chave SW2	PIN_T13	-
distancia_unidade - modo 0 db_estado_serial - modo 1	display HEX0	PIN_U21, PIN_V21, PIN_W22, PIN_W21, PIN_Y22, PIN_Y21, PIN_AA22	-
distancia_dezena - modo 0 db_estado_interface - modo 1	display HEX1	PIN_AA20, PIN_AB20, PIN_AA19, PIN_AA18, PIN_AB18, PIN_AA17, PIN_U22	-
distancia_centena - modo 0 db_estado_sonar - modo 1	display HEX2	PIN_Y19, PIN_AB17, PIN_AA10, PIN_Y14, PIN_V14,	-

		PIN_AB22, PIN_AB21	
angulo_unidade - modo 0 0 - modo 1	display HEX3	PIN_Y16 PIN_W16 PIN_Y17 PIN_V16 PIN_U17 PIN_V18 PIN_V19	
angulo_dezena - modo 0 0 - modo 1	display HEX4	PIN_U20 PIN_Y20 PIN_V20 PIN_U16 PIN_U15 PIN_Y15 PIN_P9	
angulo_centena - modo 0 db_estado posicao_servo - modo 1	display HEX5	PIN_N9 PIN_M8 PIN_T14 PIN_P14 PIN_C1 PIN_C2 PIN_W19	
saida_serial	pino GPIO_0_D1	PIN_B16	-
trigger	pino GPIO_1_D1	PIN_A12	-
echo	pino GPIO_1_D3	PIN_B12	-
pwm	pino GPIO_0_D35	PIN_T15	
fim_posicao	led LEDR0	PIN_AA2	-
db_ligar	led LEDR1	PIN_AA1	-
db_saida_serial	pino GPIO_0_D33	PIN_T18	Protocol – DIO7
db_trigger	pino GPIO_1_D33	PIN_G12	Scope – CH1+
db_echo	pino GPIO_1_D35	PIN_K16	Scope – CH2+
db_fim_posicao	pino GPIO_1_D31	PIN_G15	-
db_fim_transmissao	pino GPIO_1_D29	PIN_F12	-

Tabela 1 - Pinagem da experiência

Testes Incrementais e Circuitos de Teste Intermediários

Etapa 1: Teste de Transmissão Serial

- O primeiro passo é realizar o teste de **loopback** para testar o funcionamento da transmissão serial com o material fornecido na bancada.

Este teste é essencial para garantir que a comunicação serial entre o computador e a FPGA esteja funcionando corretamente.

- **Circuito de Teste:** A transmissão será validada conectando o cabo serial no CI MAX3232 e observando a resposta na FPGA.

Etapa 2: Teste do Sensor Ultrassônico HC-SR04

- Após o teste da transmissão serial, será testado o sensor ultrassônico. O switch 1 será ativado para iniciar a medição de distância, com a validação dos valores de medição sendo feita nos três primeiros displays de 7 segmentos.
- **Circuito de Teste:** O sensor HC-SR04 será monitorado por meio da função **Scope** do Analog Discovery, verificando os sinais de **Trigger** e **Echo**. Caso os valores não sejam exibidos corretamente, será necessário depurar o circuito.

Etapa 3: Teste do Servomotor

- Em seguida, será testado o servomotor. O switch 1 será ativado para movimentar o motor, e os valores de ângulo serão exibidos nos três últimos displays de 7 segmentos.
- **Circuito de Teste:** A função **Scope** do Analog Discovery será utilizada para verificar o sinal PWM que controla o servomotor. Se os valores não forem exibidos corretamente, será feita uma depuração similar à do sensor.

Validação do Funcionamento de Cada Módulo

Cada módulo do sistema será validado com base nos seguintes critérios:

1. **Transmissão Serial:** O uso do software **TeraTerm** ou **Analog Discovery** permitirá a verificação da transmissão de dados entre o computador e a FPGA. Se a comunicação serial estiver correta, os dados serão transmitidos e recebidos sem erros.
2. **Sensor Ultrassônico HC-SR04:** O funcionamento correto do sensor será validado pela exibição de valores de distância nos displays de 7 segmentos, quando o switch 1 estiver ativado. O teste de transição de

estados do sensor será monitorado pelo segundo display de 7 segmentos com o switch 2 ativado.

3. **Servomotor:** A exibição correta dos ângulos nos displays de 7 segmentos validará o funcionamento do servomotor. Da mesma forma que no sensor, a transição de estados do motor será monitorada pelo último display de 7 segmentos, com o switch 2 ativado.

Após a verificação individual dos módulos, a montagem completa do circuito será finalizada. A **Figura 12** ilustra o circuito completo do experimento, incluindo as conexões entre o sensor ultrassônico HC-SR04, a interface de conversão de tensão, o componente serial, o servomotor e a FPGA.

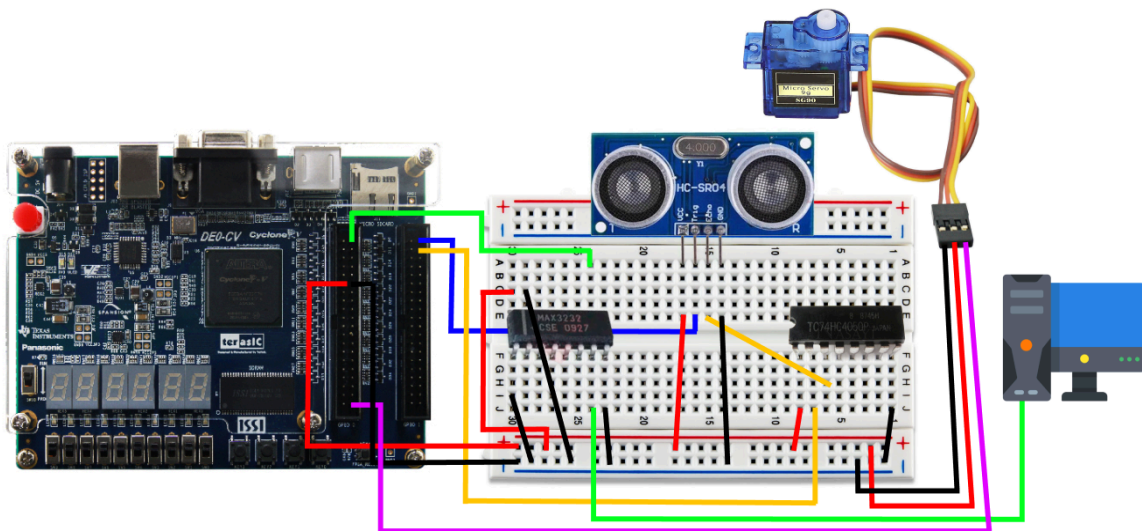


Figura 12 - Montagem do circuito do experimento 5

2.5 Atividade 3 – Procedimento Experimental na Bancada do Laboratório

Para verificar o correto funcionamento do circuito, deverão ser feitos os seguintes casos de testes:

Tempo decorrido	Ângulo	Medição obtida
0s	20°	8cm
2s	40°	16cm
4s	60°	57cm

6s	80°	131cm
8s	100°	15cm
10s	120°	17cm
12s	140°	17cm
14s	160°	23cm
16s	140°	17cm
18s	120°	17cm

Tabela 2 - Tabela de testes para a montagem experimental

Para depuração do sistema, diversos sinais de depuração e teste foram selecionados pelo grupo, além dos valores de ângulo e distância que serão apresentados nos displays de 7 segmentos, também vamos monitorar a posição do servo dentro das 8 totais especificadas, assim como os estados do sonar, da interface do sensor ultrassônico e da transmissão serial. Além dos displays, também foram adicionados sinais de depuração para o fim da posição do servo e do fim da transmissão serial que serão apresentados nos LEDs da placa FPGA.

3. Relatório da experiência

Assim que o grupo chegou no laboratório foi realizado os testes descritos na seção 2.4, o loopback para o teste da transmissão serial funcional corretamente. Foi testado o servo motor para verificar o funcionamento da medição, funcionou corretamente também, visualizamos a medida nos displays definidos pelo grupo. O servo foi conectado à montagem e verificamos sua movimentação. Após esses testes conectamos os canais do analog discovery nos pinos definidos pelo grupo para realizar a monitoração.

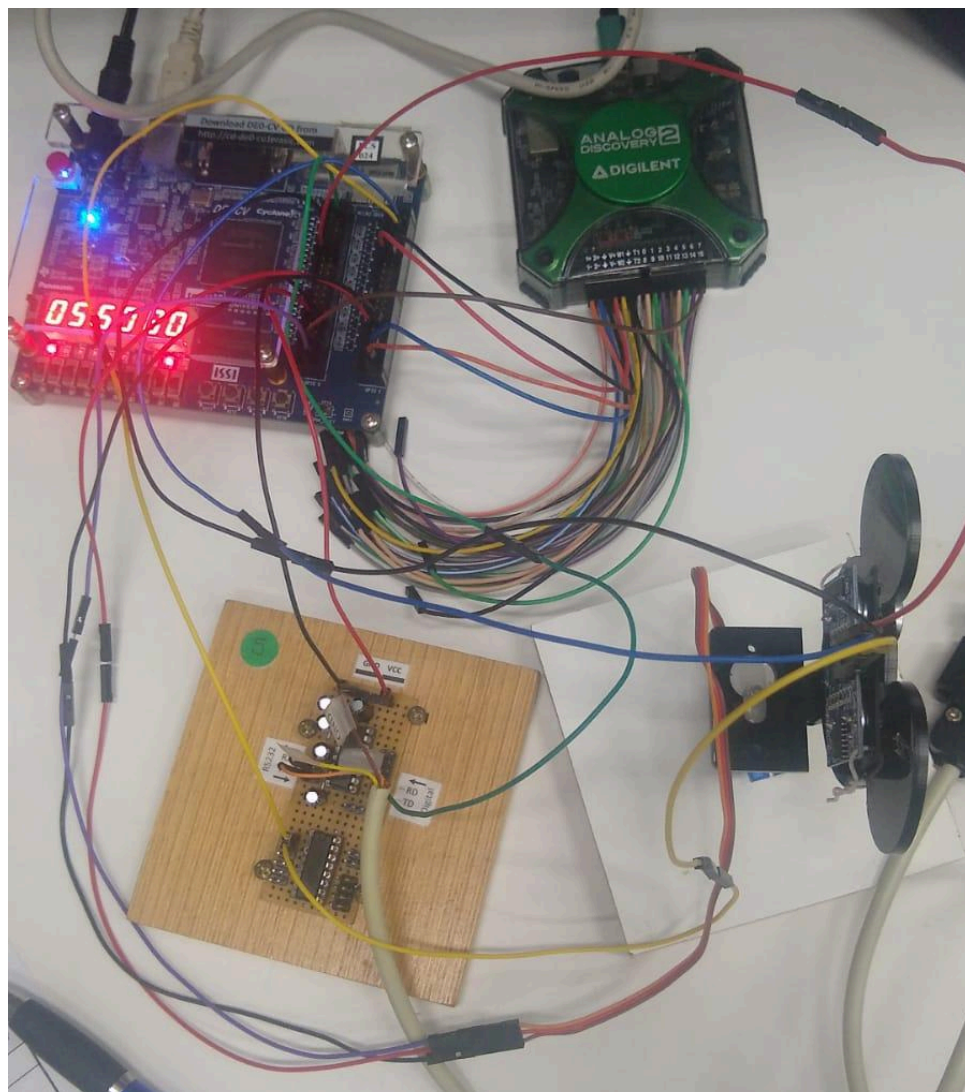


Figura 13 - Montagem da experiência 5

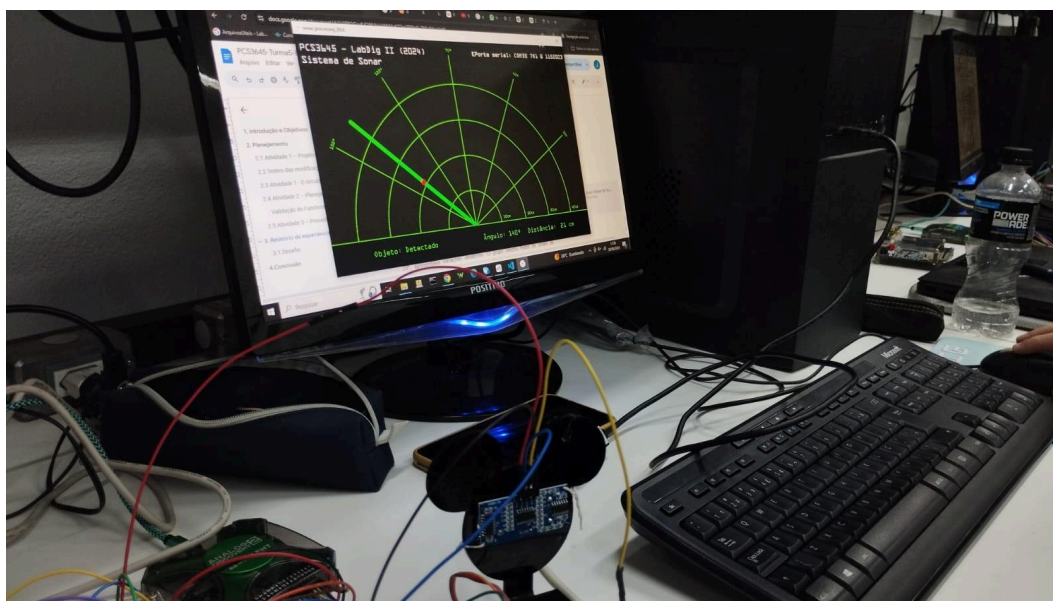


Figura 14 - Medição do circuito com o processing

Após a conclusão da montagem, foi identificado um erro na mudança de posição do servomotor. O movimento, que deveria ocorrer em incrementos de 20°, apresentava variações aleatórias. O grupo utilizou todos os sinais de depuração previstos no planejamento inicial; contudo, não foi possível identificar a causa do erro. Diante disso, foram adicionados novos sinais de depuração, analisados com o auxílio do *Analog Discovery*, mas, ainda assim, o erro permaneceu sem diagnóstico claro.

Após uma análise mais detalhada, foi levantada a hipótese de que o problema estava no módulo contador_updown. Com isso, decidimos modificar o código do contador e aplicá-lo ao circuito do sonar. Após essa alteração, a mudança de posição do servomotor ocorreu de forma correta. No entanto, um novo erro foi identificado ao final do ciclo de 16 segundos: em vez de mover de 160° para 140°, o servomotor retornava de 160° para 20°. Esse erro decorreu de uma adaptação inadequada do código do contador_updown ao circuito do sonar, uma vez que utilizamos 3 bits de saída, enquanto o novo código do contador foi parametrizado para 4 bits, gerando uma incompatibilidade na transição de posições.

3.1 Desafio

O desafio é relativamente simples, basicamente é para adicionar a funcionalidade de interromper o circuito, então quando esse sinal for ativado o servo motor não deve se mover e não deve ser realizada outra medição. A alteração foi realizada no estado *preparacao*, foi adicionado uma condição do sinal *interromper* igual a zero para sair deste estado. Abaixo está o diagrama de transição de estados

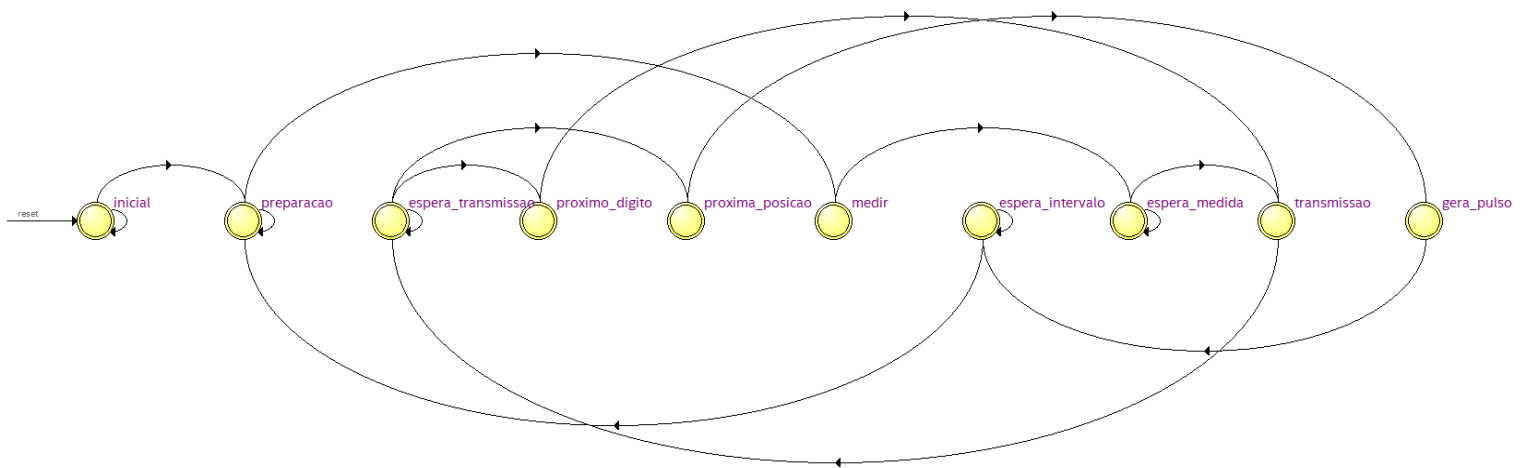


Figura 15 - Diagrama de transição de estados

Observe que o estado *preparacao* pode permanecer nele mesmo, esta foi a alteração realizada. Foi realizado os testes e funcionou corretamente.

4.Conclusão

O experimento demonstrou com sucesso a integração de um sensor ultrassônico e um servomotor para a detecção e localização de objetos, utilizando comunicação serial para transmissão de dados. As modificações realizadas nos circuitos e a implementação da máquina de estados permitiram um controle eficiente do sistema. Apesar dos desafios enfrentados, como a movimentação errática do servomotor e a incompatibilidade no código do contador, as adaptações realizadas resultaram em um funcionamento adequado. A adição da funcionalidade de interrupção proporcionou maior controle sobre o circuito, confirmando a eficácia das soluções implementadas. Os testes realizados validaram a precisão das medições e o desempenho do sistema na FPGA, cumprindo os objetivos propostos.