



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
LABORATÓRIO DE SISTEMAS DIGITAIS



Guia de projeto em esquemático utilizando o Software Quartus II 15.0 Web Edition da Altera

Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação

Profa. Luiza Maria Romeiro Codá

COLABORADOR: RHAMY SALIM BACHOUR
(ATUALIZADO POR: TAÍS AGUIAR PICHINIM E HEITOR AMANTINI MASSON)

13 de maio de 2020

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Software Quartus II 15.0 Web Edition | 4 |
| 1.1 | Quartus II 15.0 Web Edition e ModelSim-Altera Starter Edition 10.3d - Download . . . | 4 |
| 1.2 | Quartus II 15.0 Web Edition - Instalação | 4 |
| 1.3 | ModelSim-Altera 15.0 Starter Edition - Instalação | 5 |
| 2 | Criando projetos com o Quartus II | 6 |
| 3 | Criado um projeto em esquemático | 11 |
| 3.1 | Inserindo componente das bibliotecas | 13 |
| 3.2 | Nomear pinos de entrada e saída | 14 |
| 3.3 | Conectando os diversos componentes do projeto | 15 |
| 4 | Compilando o projeto | 17 |
| 4.1 | Configurando o ModelSim no software Quartus II | 18 |
| 5 | Simulando circuitos projetados: QSIM-Altera | 20 |
| 5.1 | Criando um novo arquivo de simulação | 20 |
| 5.2 | Configurando e executando o arquivo de simulação | 22 |
| 6 | Simulando circuitos projetados: ModelSim-Altera | 26 |
| 6.1 | Criando um novo arquivo de simulação | 26 |
| 6.2 | Configurando e executando o arquivo de simulação | 29 |
| 7 | Atribuição de pinagem | 31 |
| 7.1 | Através da atribuição manual dos pinos | 32 |
| 7.2 | Através da importação do arquivo de pinagem | 32 |
| 8 | Síntese no dispositivo | 34 |

Lista de Figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Seleção do sistema operacional | 4 |
| 2 | Opção de download do software | 4 |
| 3 | Janela de configuração da instalação | 5 |
| 4 | Janela de instalação | 5 |
| 5 | Janela de configuração da instalação | 6 |
| 6 | Janela inicial do Quartus II | 6 |
| 7 | Janela de criação de um novo projeto - Introdução | 7 |
| 8 | Janela de criação de um novo projeto - Configuração de diretórios | 7 |
| 9 | Janela de criação de um novo projeto - Adição de arquivos | 8 |
| 10 | Janela de criação de um novo projeto - Família e Dispositivos | 8 |
| 11 | Janela de criação de um novo projeto - Ferramentas | 9 |
| 12 | Janela de criação de um novo projeto - Resumo | 9 |
| 13 | Janela inicial do Quartus II após a criação do projeto | 10 |
| 14 | Criar arquivo .bdf | 11 |
| 15 | Janela de criação do arquivo .bdf | 12 |
| 16 | Janela do Quartus II após a criação do arquivo .bdf | 12 |
| 17 | Caixa com as bibliotecas e símbolos para editor esquemático | 13 |
| 18 | Prévia do símbolo escolhido para esquemático | 13 |
| 19 | Todos os elementos inseridos no editor esquemático | 14 |
| 20 | Janela para nomear pinos de entrada e saída | 14 |
| 21 | Projeto esquemático com os pinos de entradas e saídas nomeados | 15 |
| 22 | Projeto esquemático final do decodificador - fios conectados | 15 |
| 23 | Projeto esquemático final do decodificador - fios não conectados | 16 |
| 24 | Tela gerada pela compilação de um projeto | 17 |
| 25 | Janela com a mensagem expandida | 18 |
| 26 | Janela com as mensagens de erro expandidas | 18 |
| 27 | Menu de ferramentas | 18 |
| 28 | Diretório do ModelSim-Altera | 19 |
| 29 | Criar novo arquivo | 20 |
| 30 | Criar arquivo .vwf | 20 |
| 31 | Janela de geração de ondas | 21 |
| 32 | Janela de inserção | 21 |
| 33 | Localizador de sinais | 21 |
| 34 | Sinais do projeto listados | 22 |
| 35 | Sinais do projeto selecionados | 22 |
| 36 | Janela de inserção | 23 |
| 37 | Janela de geração de ondas | 23 |
| 38 | Janela de geração de ondas | 24 |
| 39 | Pasta de destino | 24 |
| 40 | Sinais das entradas inseridos na janela de simulação | 25 |
| 41 | Barra de ferramentas de simulação | 25 |
| 42 | Janela de progresso da simulação | 25 |
| 43 | Resultado da simulação | 26 |
| 44 | Janela inicial do ModelSim | 26 |
| 45 | Janela mudança de diretório | 27 |
| 46 | Janela de criação de uma nova biblioteca | 28 |
| 47 | Janela de compilação | 28 |
| 48 | Janela de início da simulação | 29 |
| 49 | Janela de simulação | 29 |
| 50 | Adicionar waves na janela de simulação | 30 |
| 51 | Adicionar formato de onda nos pinos de entrada | 30 |
| 52 | Configurar formato de onda nos pinos de entrada | 31 |

| | | |
|----|---|----|
| 53 | Resultado da simulação | 31 |
| 54 | Acessar Pin Planner | 32 |
| 55 | Pinos associados na ferramenta Pin Planner | 32 |
| 56 | Acessar Import Assignments | 33 |
| 57 | Caixa de diálogo para importar atribuição | 33 |
| 58 | Selecionar arquivo QSF do projeto anterior | 33 |
| 59 | Pin Planner após importação | 34 |
| 60 | Acesso ao programador pelo botão | 34 |
| 61 | Acesso pelo menu de ferramentas | 35 |
| 62 | Janela do programador | 35 |
| 63 | Janela de programação sem identificação do hardware | 35 |

1 Software Quartus II 15.0 Web Edition

O Quartus II da altera é um software para projetos com PLD, o qual é apropriado para projetos de dispositivos alta densidade (high-density) Field-Programmable Gate Array (FPGA), projetos de FPGA de baixo custo, e projetos de Dispositivos lógicos Programáveis Complexos (Complex Programmable Logic Devices –CPLD). O tutorial é organizado como segue. A primeira seção dá ponteiros ao website da Altera, de onde pode ser feito o download desse software, e as instruções para instalação. A segunda seção descreve passo a passo o projeto de um decodificador 2 a 4 simples, usando o editor do diagrama esquemático de Quartus II. Finalmente, a terceira e quarta seção descrevem duas maneiras de realizar o processo da simulação para verificar o projeto do decodificador. Cada seção é ilustrada com figuras de cada etapa que conduzem aos processos seguintes.

1.1 Quartus II 15.0 Web Edition e ModelSim-Altera Starter Edition 10.3d - Download

O download do software pode ser realizado do página da intel (é necessário um cadastro) da seguinte URL:

[Quartus II 15.0 Web Edition clique aqui](#)

Escolha a versão do seu sistema operacional, conforme a Figura 1.



Figura 1: Seleção do sistema operacional

Por fim, realize o download dos arquivos em destaque na figura abaixo.

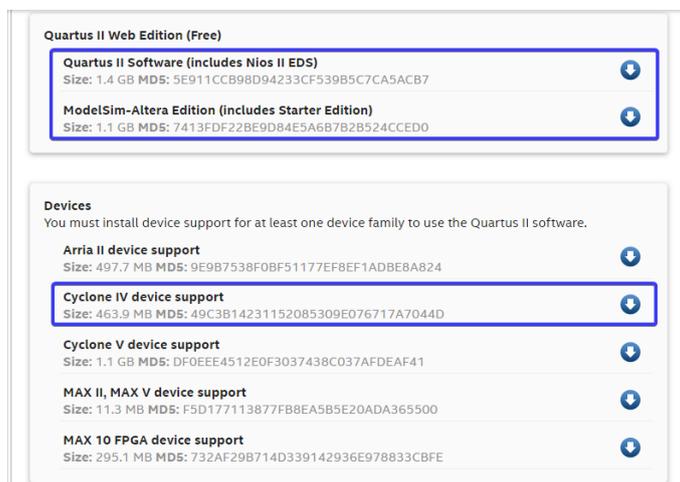


Figura 2: Opção de download do software

1.2 Quartus II 15.0 Web Edition - Instalação

Após o download, execute o arquivo QuartusSetupWeb-15.0.0.145-windows.

Após a execução do arquivo, será exibido a tela de instalação do software.

Na instalação do Quartus II, vá clicando em **Next** até chegar na etapa de seleção dos produtos que serão instalados. Nesta etapa, selecione apenas os produtos em destaque mostrados na Figura 3.

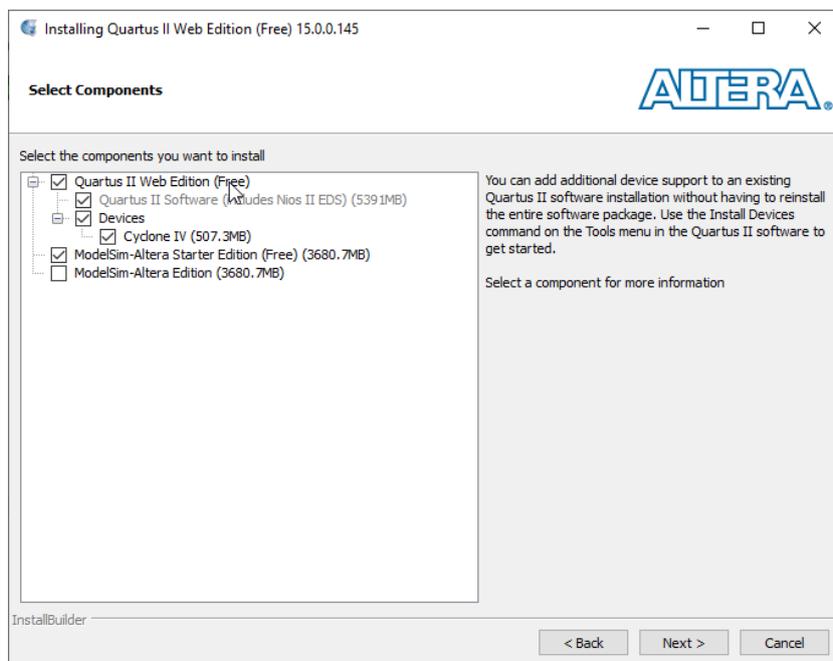


Figura 3: Janela de configuração da instalação

Após selecionar os produtos, clique em [Next](#) até chegar na janela de instalação (Figura 4) e então aguarde até todo o processo terminar.

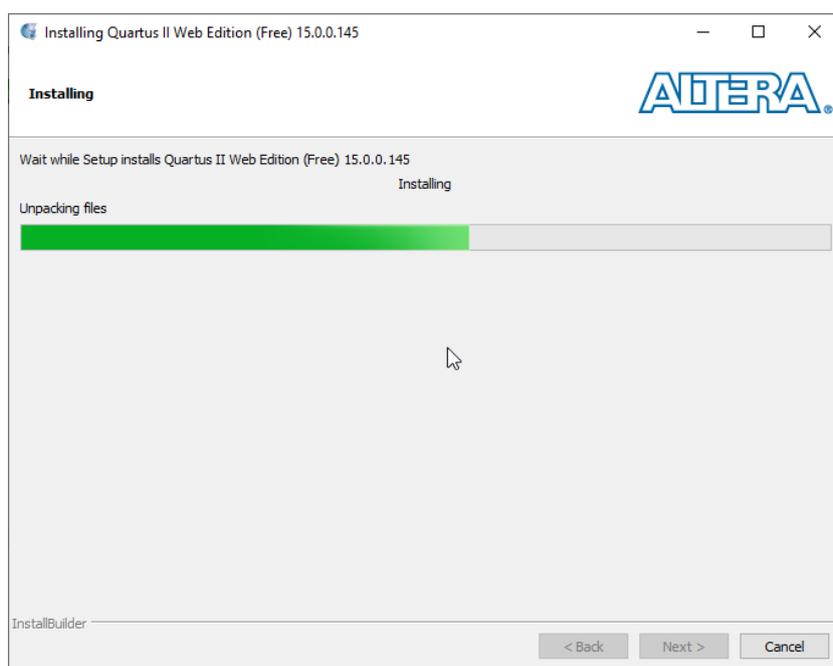


Figura 4: Janela de instalação

1.3 ModelSim-Altera 15.0 Starter Edition - Instalação

Após o download, execute o arquivo ModelSimSetup-15.0.0.145-windows.

Após a execução do arquivo, será exibido a tela de instalação do software.

Na instalação do ModelSim, vá clicando em [Next](#) até chegar na etapa de seleção do destino, o software deve sugerir o mesmo lugar onde foi instalado o software Quartus II por padrão, se você alterou este caminho padrão, então localize-o nesta etapa.

Após isso, clique em [Next](#) até chegar na etapa de seleção da edição que será instalada. Nesta etapa, selecione a "Starter Edition", conforme a Figura 5.

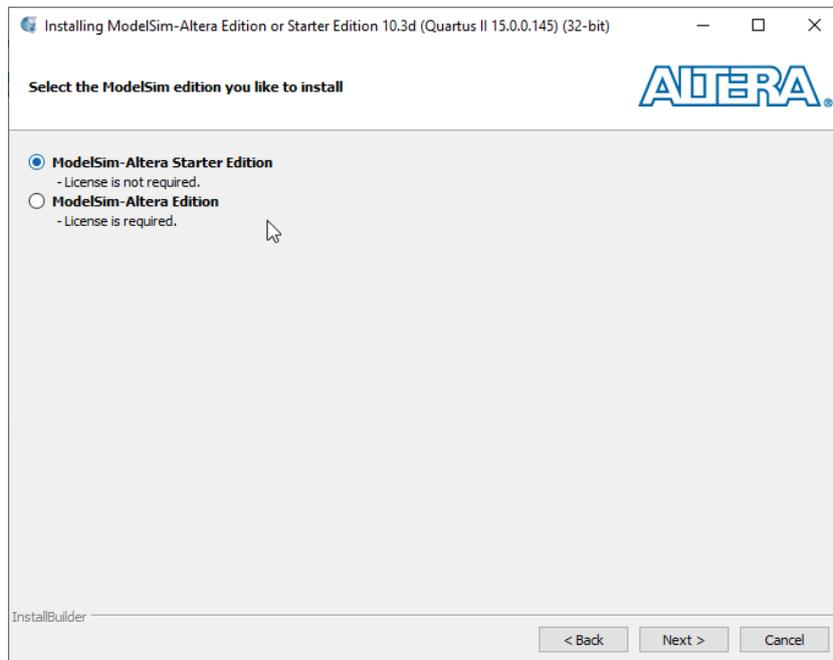


Figura 5: Janela de configuração da instalação

Então, aguarde até todo o processo terminar.

2 Criando projetos com o Quartus II

Nesta seção, será mostrado como a criar um projeto novo usando Quartus II. Para a facilidade na compreensão, será descrita cada etapa e ilustrada com figuras, do projeto de um circuito digital simples, um decodificador 2 a 4. O Quartus II trabalha com hierarquia de projetos. Portanto para cada projeto novo, deve-se criar uma pasta com o nome do projeto principal, ou seja, o de hierarquia mais alta.

Após abrir o software pelo atalho criado em seu Desktop, aparecerá uma janela parecida com a Figura 6. Clique em [New Project Wizard](#) para criar um projeto.

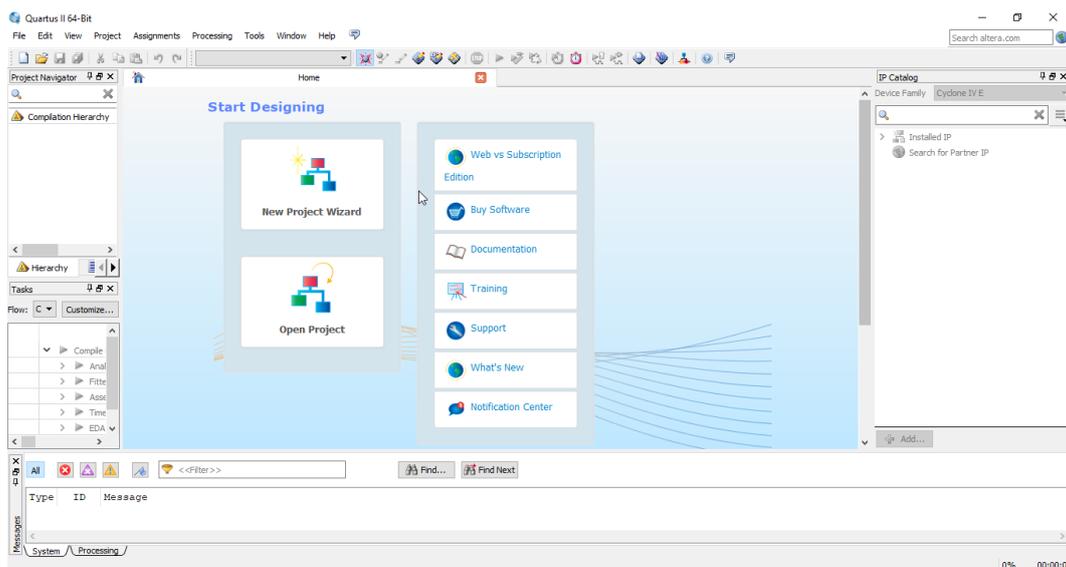


Figura 6: Janela inicial do Quartus II

Isto abrirá a caixa de diálogo do **New Project Wizard** (Figura 7) clique em **Next**.

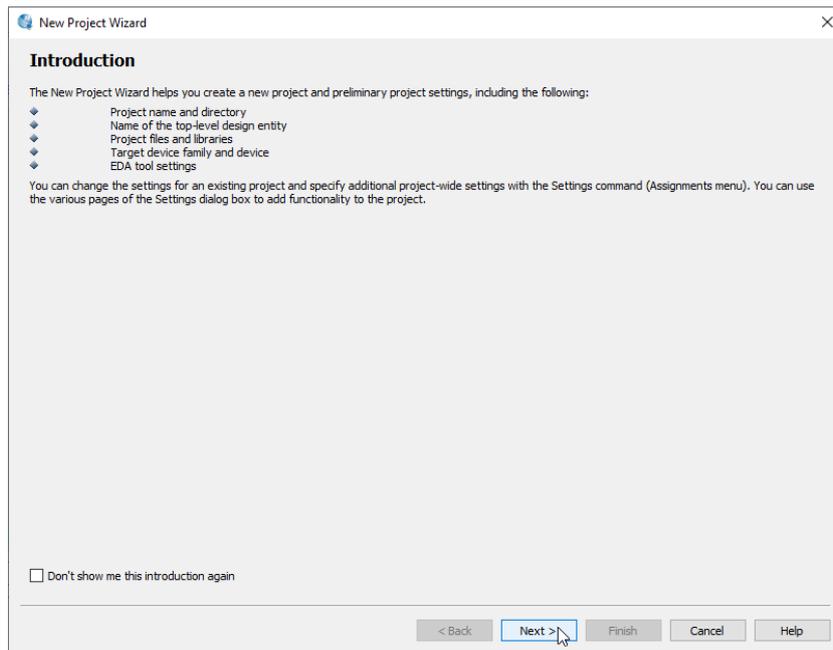


Figura 7: Janela de criação de um novo projeto - Introdução

A primeira tela (Figura 8) pede que sejam fornecidos os nomes do diretório de funcionamento do projeto, o nome do projeto e o nome da entidade do nível superior no projeto. É necessário preencher todos estes campos com a informação relevante. Para uma melhor organização deve-se criar na pasta **Documentos** uma pasta com seu N°USP e dentro desta, criar uma pasta exclusiva para projeto que será realizado no momento, ou seja para cada projeto serão criadas pastas diferentes. Isto é necessário devido ao grande número de arquivos gerado pelo "Quartus". Para o nome do projeto, deve se iniciar com letra, não pode conter caracteres especiais, não pode começar, repetir duas vezes seguidas e nem terminar com **underline**, além disso, o software não é case sensitive, ou seja, ele não diferencia letras maiúsculas de minúsculas. Ressaltando que o diretório selecionado na imagem foi apenas de exemplo.

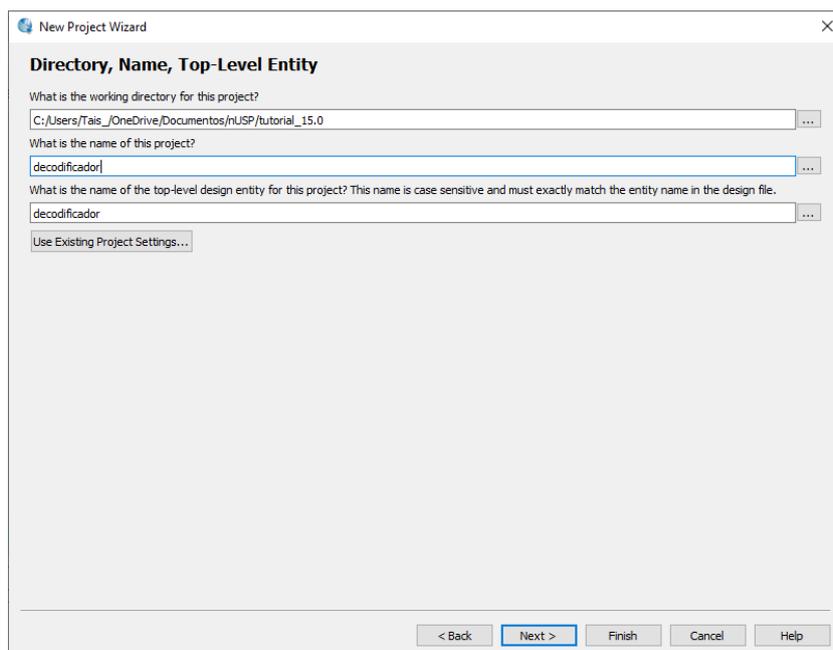


Figura 8: Janela de criação de um novo projeto - Configuração de diretórios

A segunda tela (Figura 9) pede que sejam adicionadas partes ao projeto que eventualmente tenham sido projetadas anteriormente. Caso não exista nenhuma parte do projeto já realizada, simplesmente pressiona-se a tecla **Next** para saltar esta etapa.

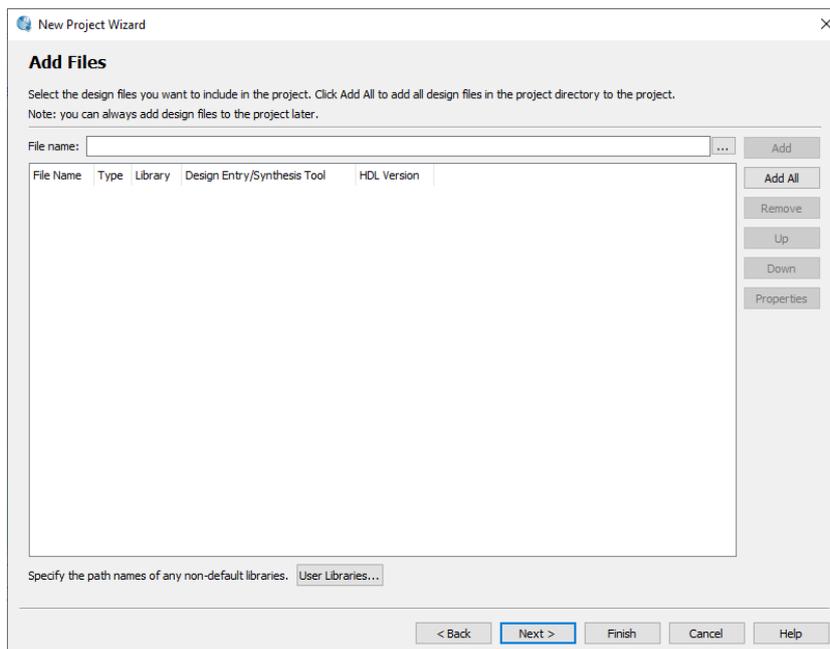


Figura 9: Janela de criação de um novo projeto - Adição de arquivos

A tela 3 da caixa de dialogo **New Project Wizard** (Figura 10) solicita informação sobre a família do dispositivo que será utilizado no projeto. Para a maioria dos projetos, será selecionado o dispositivo da família **Cyclone IV-E** e em seguida, no lado direito da tela, o dispositivo **EP4CE30F23C7** disponível nos kits Mercúrio IV - Macnica.

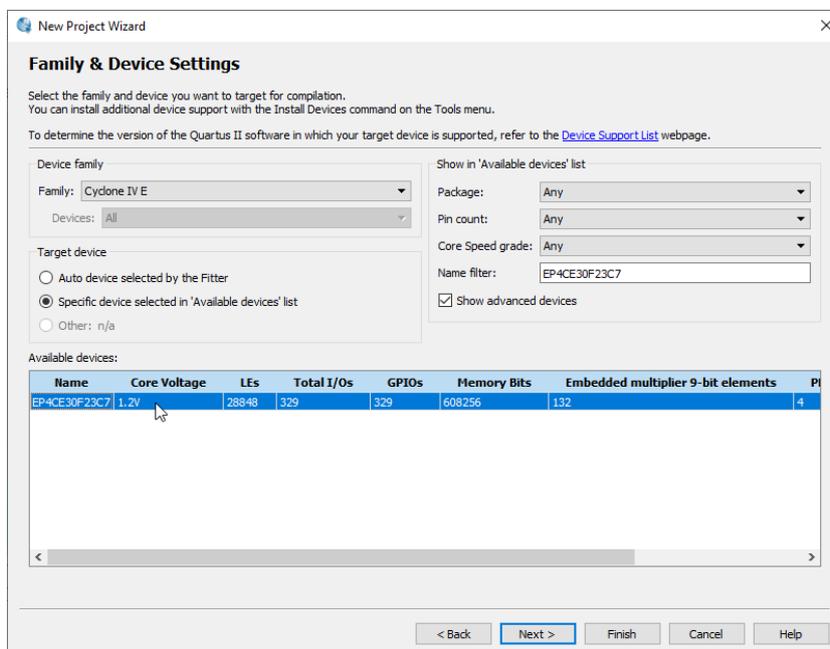


Figura 10: Janela de criação de um novo projeto - Família e Dispositivos

O Quartus permite que os usuários familiarizados com outras ferramentas de PLD integrem seus projetos naquelas ferramentas com projetos gerados no Quartus II. A tela 4 (Figura 11) pergunta basicamente se existem outras ferramentas do Quartus II que planeja-se usar durante o projeto. Neste projeto utilizaremos a ferramenta [ModelSim-Altera](#), selecione-a como mostra a figura e clique em [Next](#).

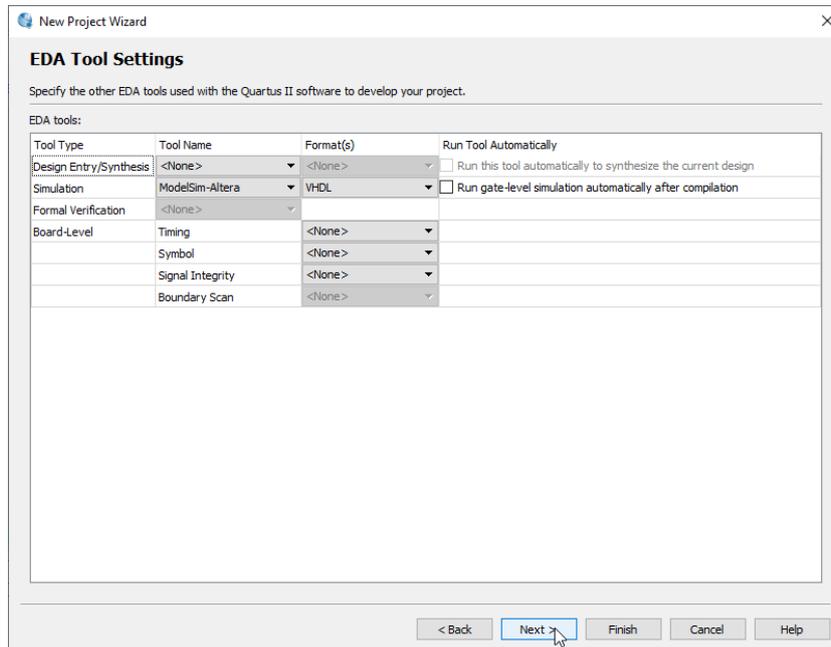


Figura 11: Janela de criação de um novo projeto - Ferramentas

Finalmente a tela 5 informa que [New Project Wizard](#) (Figura 12) está terminado.

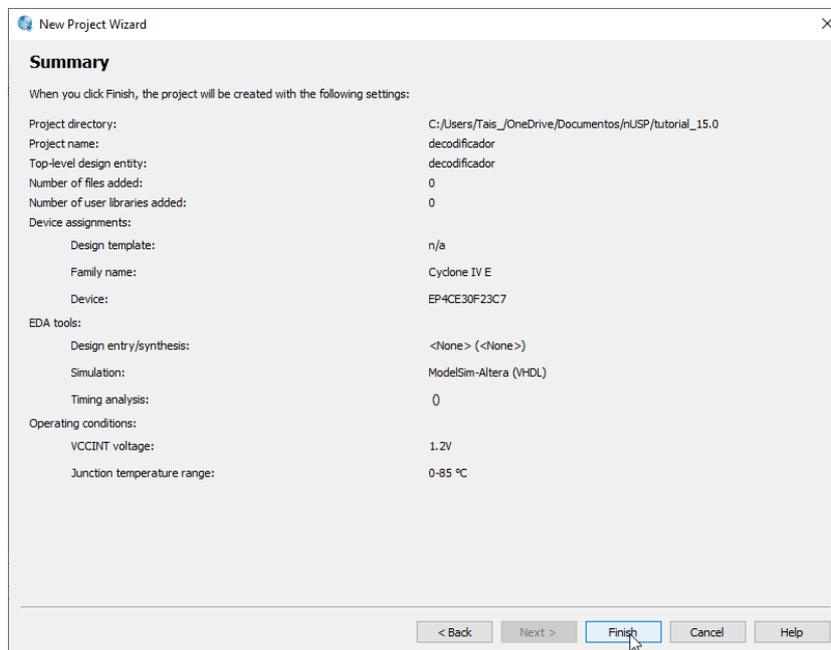


Figura 12: Janela de criação de um novo projeto - Resumo

Ao terminar os procedimentos acima, o software deverá ser parecido com a Figura 13. Se houver uma mensagem de erro dizendo que não houve permissão para criar os arquivos, muito provavelmente não foi selecionado uma pasta específica para o projeto na primeira tela. Feche o programa, abra-o novamente e inicie os procedimentos descritos nesta seção novamente.

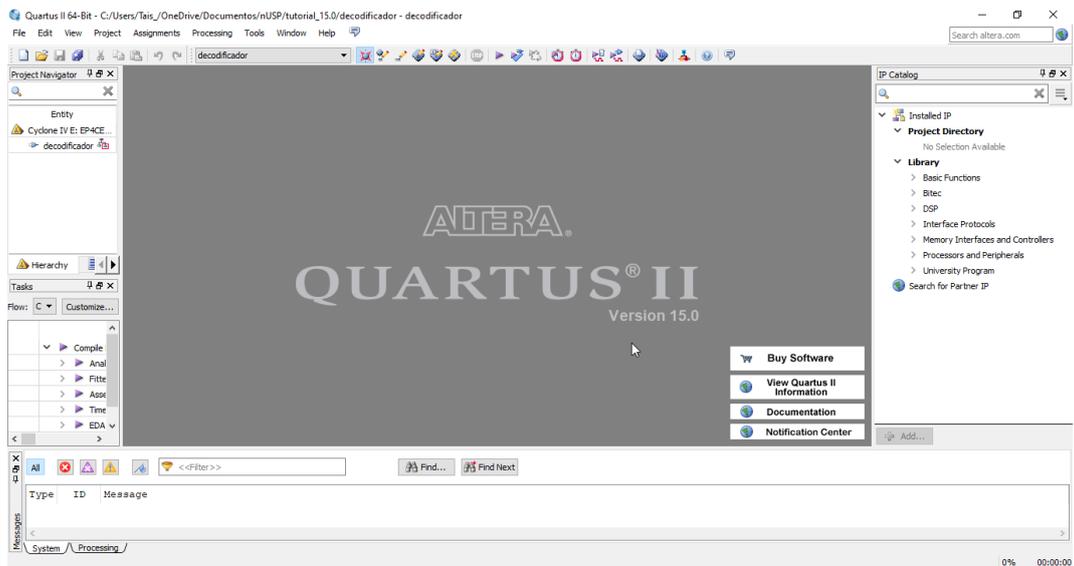


Figura 13: Janela inicial do Quartus II após a criação do projeto

3 Criado um projeto em esquemático

Uma vez criado o espaço do projeto, o próximo passo agora é criar o arquivo `.bdf` de projeto o qual se transformará após a compilação em um projeto. Para criar um arquivo novo de projeto, na barra de ferramentas em **File** seleciona-se o **New** (Figura 29) o qual irá abrir a caixa de diálogo.

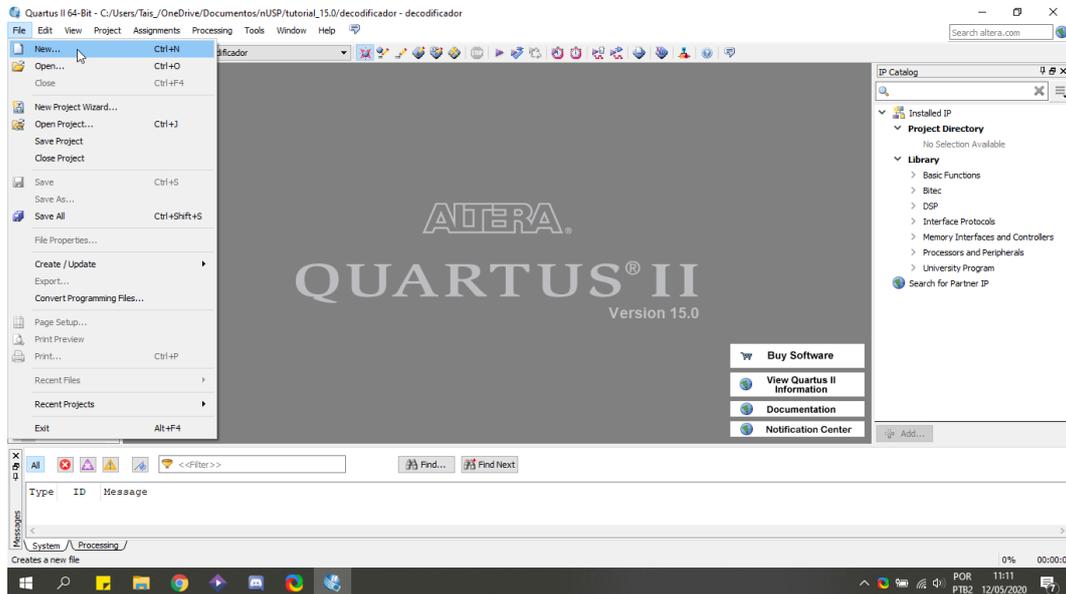


Figura 14: Criar arquivo `.bdf`

Nessa etapa do curso será utilizado o [Block Diagram/Schematic File](#) como método de projeto (Figura 15).

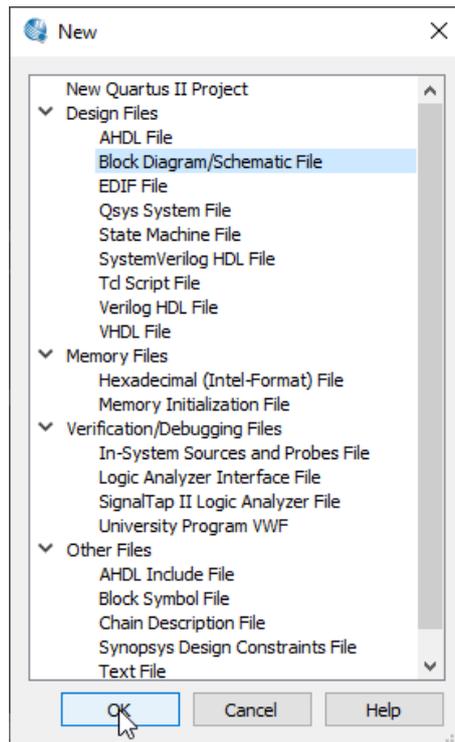


Figura 15: Janela de criação do arquivo .bdf

Uma vez selecionado o [Block Diagram/Schematic File](#) e pressionado o **Ok**, o Quartus II abrirá um editor esquemático com uma disposição das ferramentas do esquemático (Figura 16). O conjunto de ferramentas se encontra destacado na figura, para saber o nome do botão, basta posicionar o mouse em cima do mesmo e o nome aparecerá.

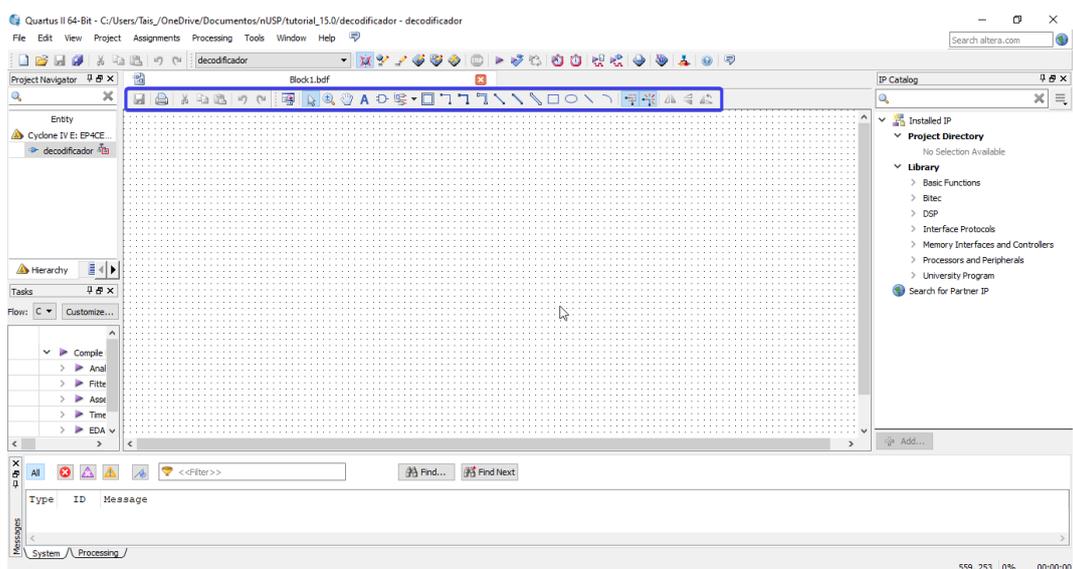


Figura 16: Janela do Quartus II após a criação do arquivo .bdf

3.1 Inserindo componente das bibliotecas

O software Quartus II fornece símbolos para uma variedade de funções lógicas, incluindo primitivas, funções de bibliotecas de Módulos Parametrizados(LPM), e outras megafunções. Para entrar com uma porta AND de duas entradas os passos seguintes devem ser seguidos:

1. Clique no botão  da barra de ferramentas.
2. Na janela de abrirá (Figura 17), em **Libraries** clique no ícone **+** para expandir e aparecer os subitens, então da mesma maneira expandir a pasta **primitives** e a **logic**.
3. Na pasta **logic**. Seleccionar a primitiva **and2**. Uma réplica do símbolo aparece na caixa de diálogo (Figura 18). Clique em **Ok**
4. Clique o ponteiro na posição de projeto na janela do Editor esquemático e insira o símbolo **and2** dentro do arquivo de projeto. Para desconectar o ponteiro, basta pressionar a tecla **Esc**.

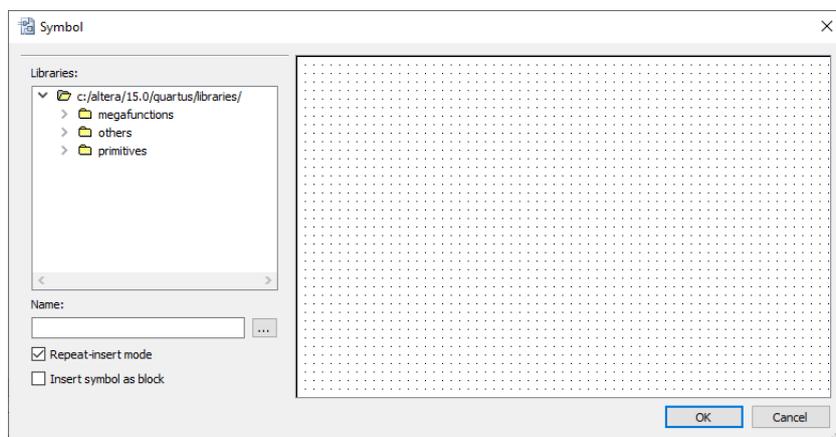


Figura 17: Caixa com as bibliotecas e símbolos para editor esquemático

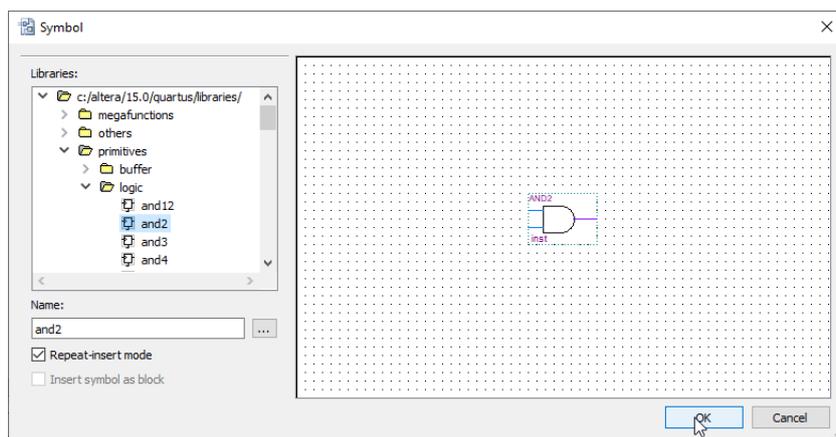


Figura 18: Prévia do símbolo escolhido para esquemático

Repita os mesmos passos para a primitiva **not** também contido na pasta **logic** e para as primitivas de entrada (**input**) e saída (**output**) contidas na pasta **pin**. No exemplo do projeto do decodificador, será utilizado quatro portas **AND** e duas portas **NOT** como também dois pinos de entrada e quatro pinos de saída. Na Figura 19 é mostrado uma imagem com todos os elementos necessários inseridos no editor esquemático.

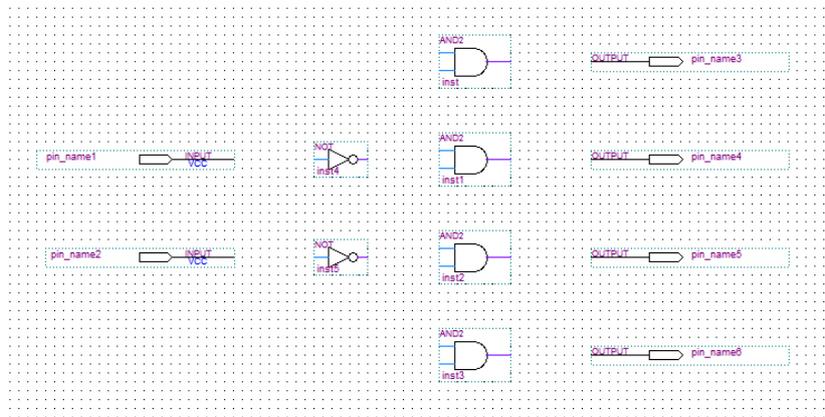


Figura 19: Todos os elementos inseridos no editor esquemático

3.2 Nomear pinos de entrada e saída

Após inserção dos pinos de entradas e saídas é necessário nomeá-los. Para isso, clique duas vezes sobre o pino e então uma janela abrirá (Figura 20) permitindo a edição. Basta colocar o nome, no caso A, onde aparece **pin_name** e clique em **Ok**. É recomendado renomear os pinos e sinais seguindo as mesmas regras para nome de projeto ou de preferência usar nomes pequenos.

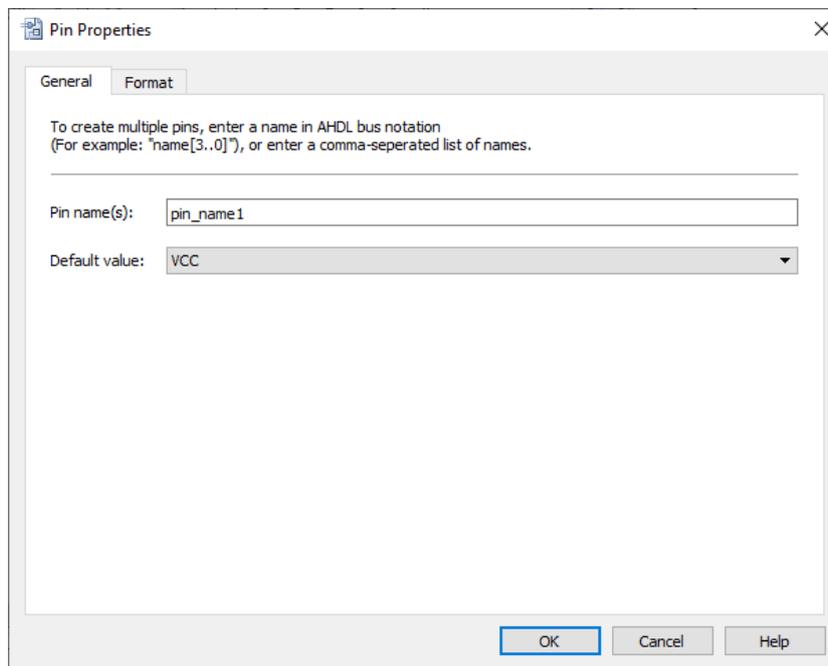


Figura 20: Janela para nomear pinos de entrada e saída

Renomeie os pinos de entrada e saída conforme mostra a Figura 21.

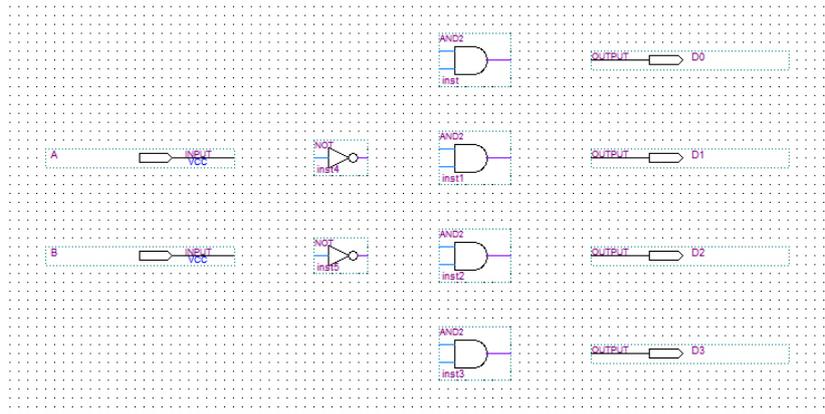


Figura 21: Projeto esquemático com os pinos de entradas e saídas nomeados

3.3 Conectando os diversos componentes do projeto

Após inserir todos os símbolos deve-se interligá-los. Para isso escolhe-se na barra de ferramentas o botão  para interligar com apenas um fio os diversos blocos. E então o projeto final do decodificador deve ficar como mostra a Figura 22.

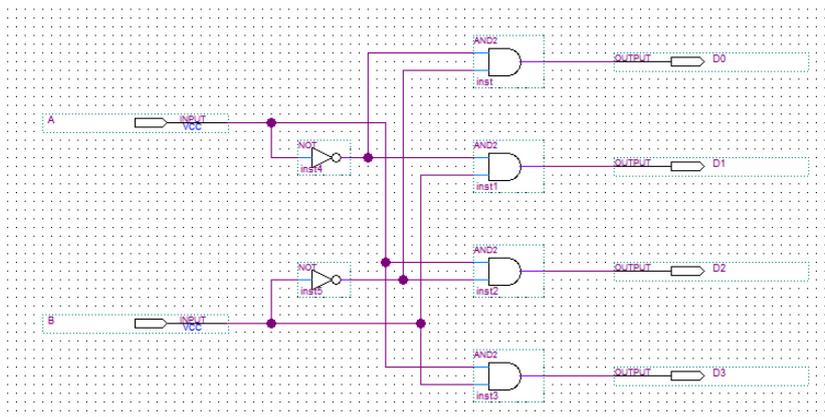


Figura 22: Projeto esquemático final do decodificador - fios conectados

Outra opção de conexão dos fios é conectando um lado às portas e deixando a outra ponta solta, e em seguida, editando o nome do fio com o mesmo nome do fio e então ele será "conectado" automaticamente como mostra na Figura 23. Para renomear o fio, clique com o lado direito do mouse em cima do fio e vá em [Properties](#).

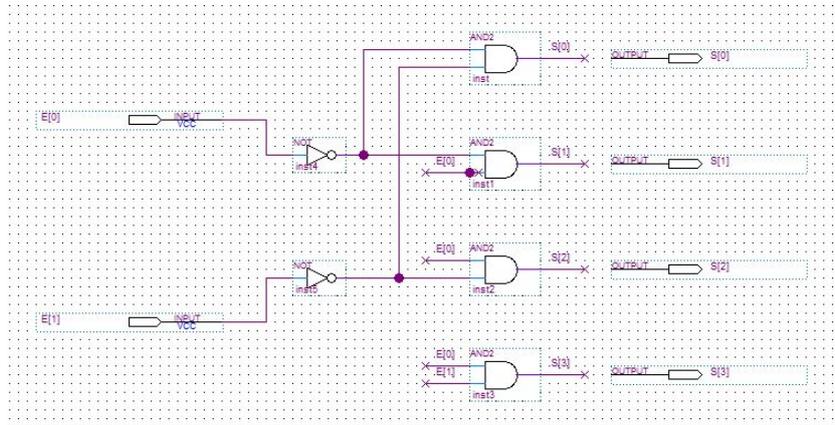


Figura 23: Projeto esquemático final do decodificador - fios não conectados

O próximo passo é salvar o projeto. Para isso, clique no ícone  na barra de ferramentas do software ou utilize a opção [File](#) e [Save Project](#). Deve-se salvar o projeto na pasta em que foi criada com o **MESMO** nome do projeto.

4 Compilando o projeto

O Compilador do Quartus II consiste de um conjunto de módulos independentes que checam os erros do projeto, sintetizam a lógica, ajusta o projeto dentro do dispositivo Altera e gera arquivos de saída para simulação, análise de tempo e programação do dispositivo. O Compilador consiste módulos de [Analysis & Synthesis](#), [Fitter](#), [Assembler](#), e [Timing Analyzer](#), os quais podem ser corridos individualmente ou juntos.

Durante uma compilação completa, o módulo [Compiler's Analysis & Synthesis](#) primeiro extrai informação que define as conexões entre arquivos de projeto e os projetos e verifica erros básicos do projeto. Então cria um mapa organizacional do projeto e combina todos os arquivos de projeto dentro de uma database que pode ser processado eficientemente. A seguir, o [Fitter](#) seleciona o padrão ótimo de interconexão, atribuição de pinagem e atribuição de células lógicas necessárias para ajustar o projeto dentro do dispositivo da Altera selecionado. O [Assembler](#), então completa o processamento do projeto convertendo as atribuições do [Fitter](#) dentro de uma imagem de programação para o dispositivo. Finalmente, o [Timing Analyzer](#) corre automaticamente para reportar as informações de tempo para toda a lógica no projeto.

Para compilar um projeto, deve seguir os seguintes passos:

1. Com o projeto aberto, no caso do decodificador, escolher na barra de ferramentas a opção [Timing Tools](#), depois [Compiler Tool](#) e [Start](#) ou simplesmente na barra de ferramentas clique no botão .
2. Durante a Compilação, aparecem mensagens de toda a compilação numa janela de Mensagens (Figura 24). É possível selecionar uma mensagem e localizar sua fonte no arquivo de projeto ou outro arquivo.
3. Para localizar a fonte de uma mensagem gerada pelo compilador deve-se clicar na janela de mensagem no ícone  e expandi-lo para encontrar uma unidade de projeto, incluindo uma entidade (Figura 25).
4. Clicar duas vezes na mensagem de erro, o ponteiro irá mostrar qual unidade de projeto e qual símbolo (instância) é geradora do problema (Figura 26).

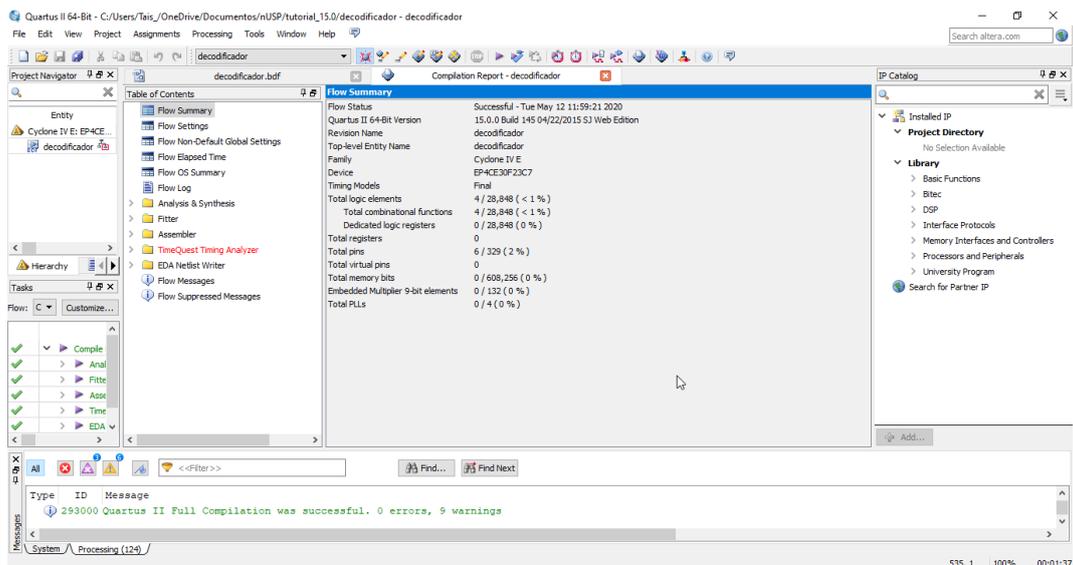


Figura 24: Tela gerada pela compilação de um projeto

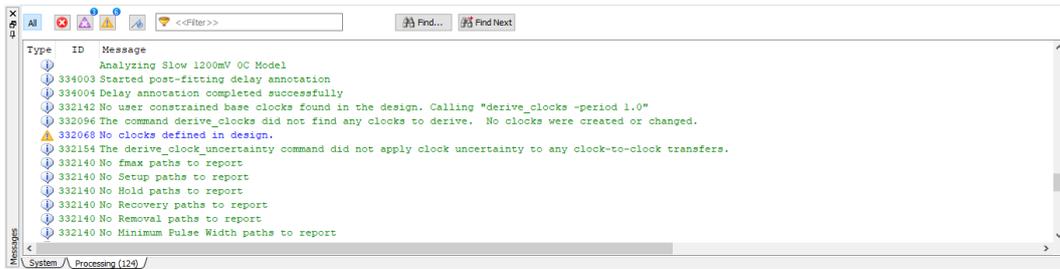


Figura 25: Janela com a mensagem expandida

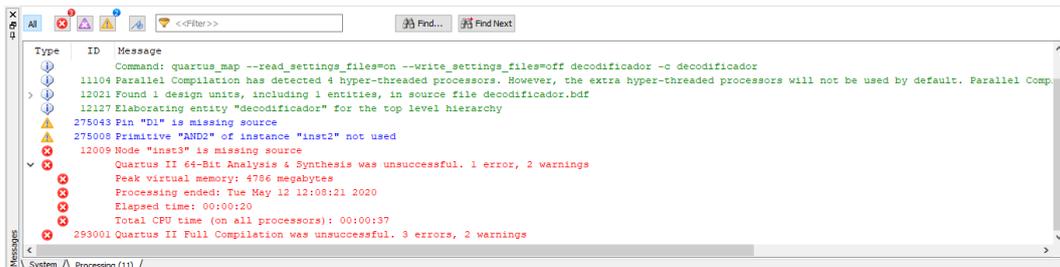


Figura 26: Janela com as mensagens de erro expandidas

4.1 Configurando o ModelSim no software Quartus II

Para configurar o ModelSim, abra o software Quartus II e clique na aba “Tools”, selecionando “Options”, como na figura 27.

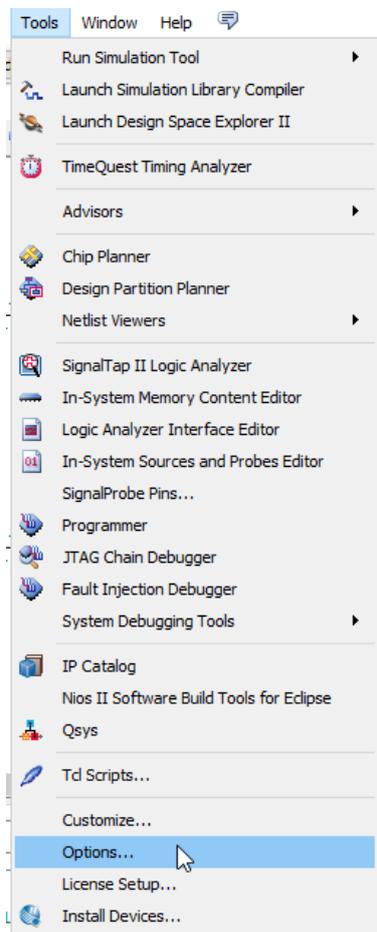


Figura 27: Menu de ferramentas

Uma tela de opções será aberta, clique em “EDA Tool Options” e confira se o diretório do ModelSim está correto.

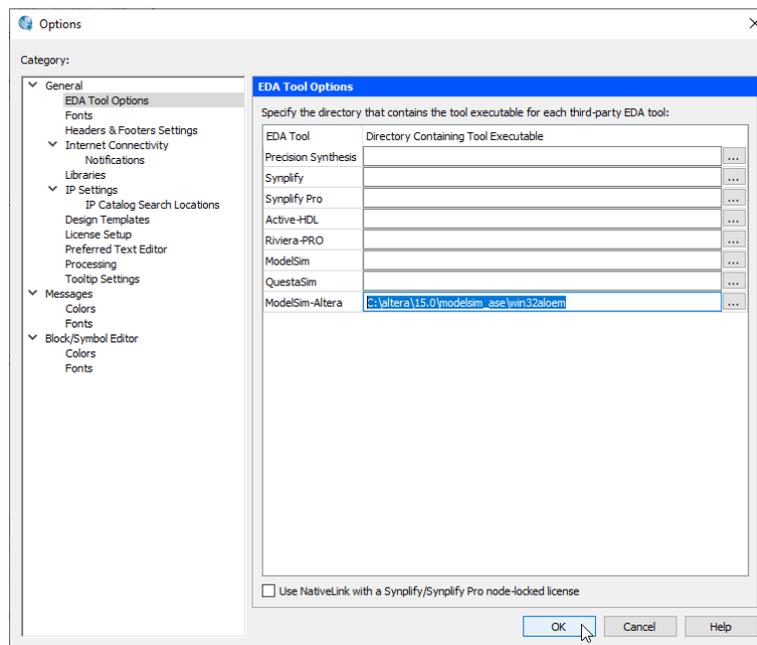


Figura 28: Diretório do ModelSim-Altera

5 Simulando circuitos projetados: QSIM-Altera

A simulação de um projeto se faz necessária quando o projetista quer ter certeza de que seu projeto, ou parte de seu projeto, foi logicamente projetado.

5.1 Criando um novo arquivo de simulação

Na página inicial do software Quartus II, crie um novo arquivo do tipo "University Program VWF", conforme as Figuras 29 e 30.

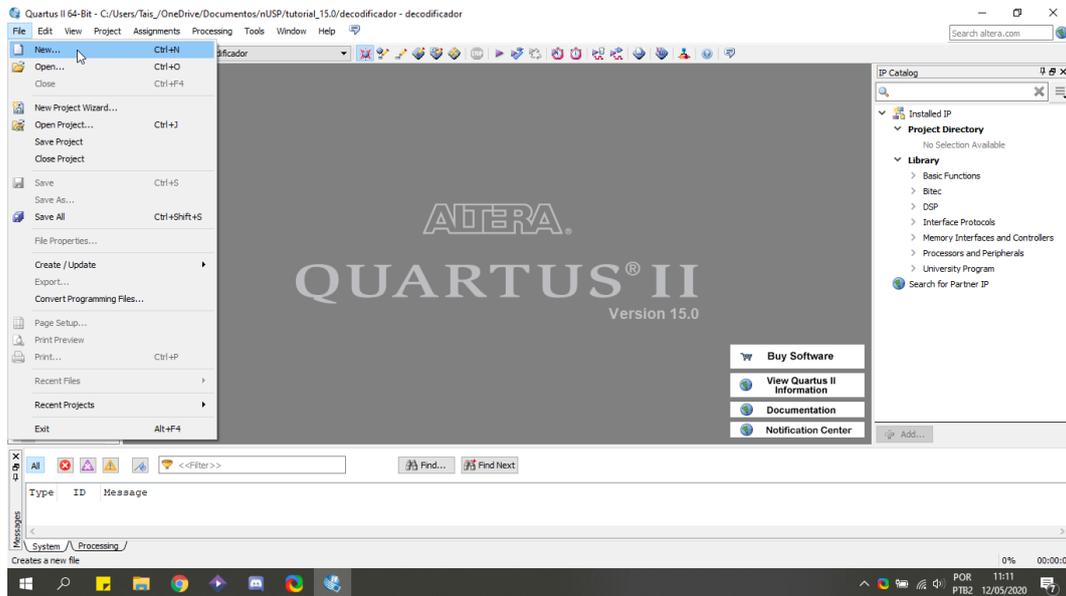


Figura 29: Criar novo arquivo

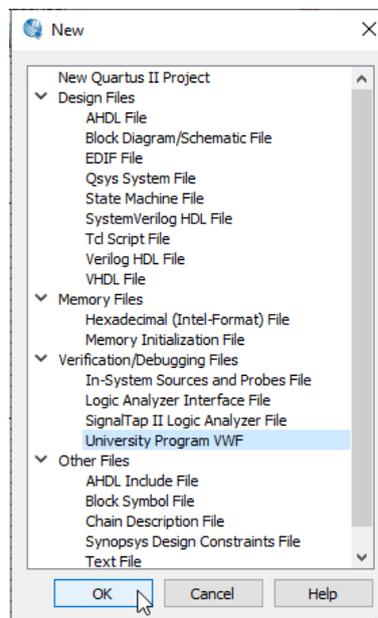


Figura 30: Criar arquivo .vwf

A janela da Figura 31 será apresentada onde serão criadas as ondas. Nessa janela selecione **Edit** e **Insert Node or Bus...**

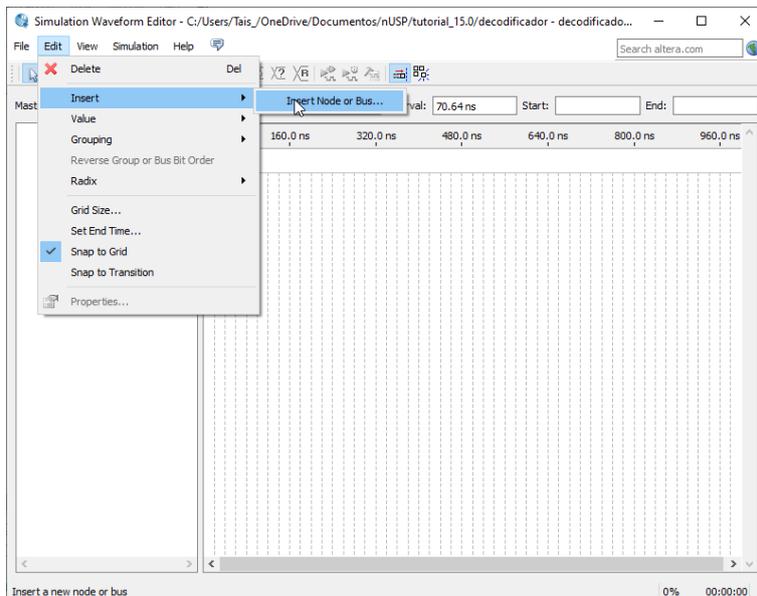


Figura 31: Janela de geração de ondas

A janela da Figura 32 será apresentada, então selecione [Node Finder..](#) e a janela da Figura 33 será mostrada.

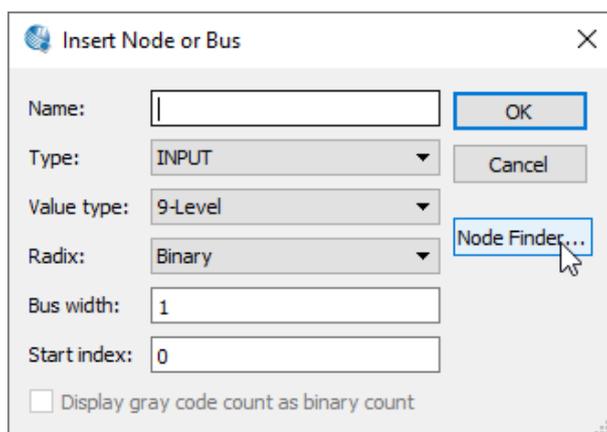


Figura 32: Janela de inserção

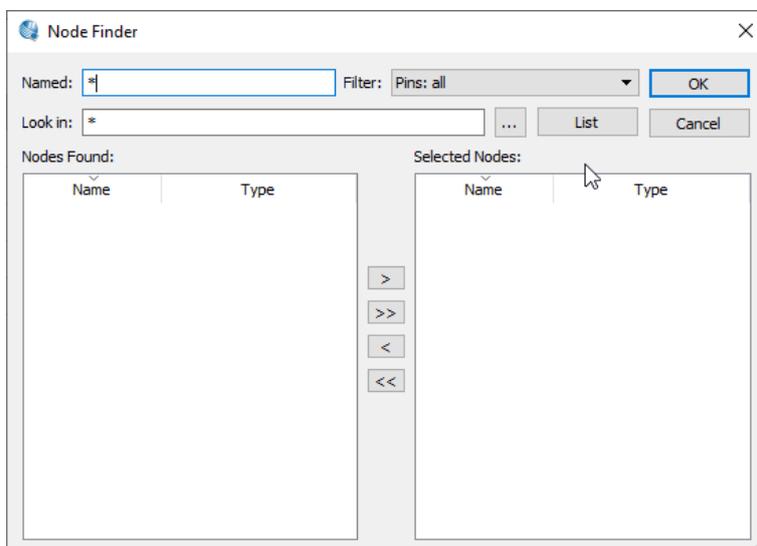


Figura 33: Localizador de sinais

O menu **filter** possibilita selecionar a categoria de sinais. Neste caso, mantenha todos os pinos. Em seguida clique no botão **list** para listar todos os sinais do lado esquerdo da janela, conforme a Figura 34.

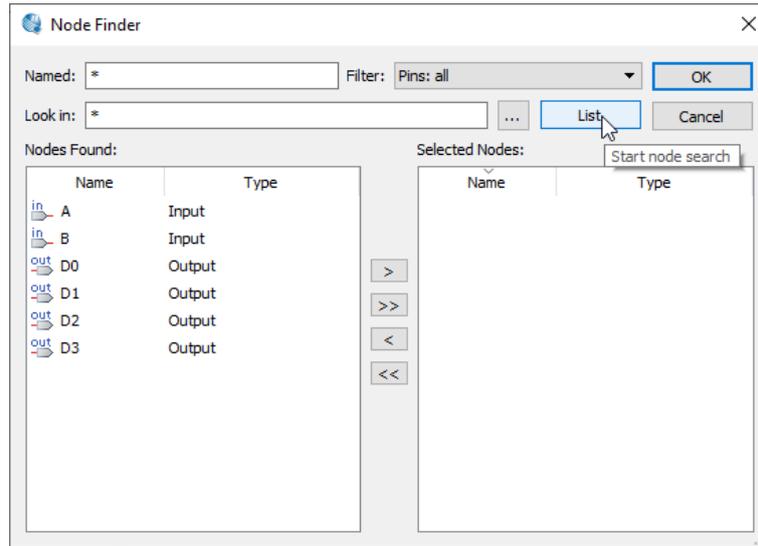


Figura 34: Sinais do projeto listados

5.2 Configurando e executando o arquivo de simulação

Clique no botão **>>** para selecionar os sinais que deseja simular, veja que estes são transferidos para a parte da direita, como mostra a Figura 35. Então é só selecionar **OK** e a janela da Figura 36 aparecerá. Selecione novamente **OK**.

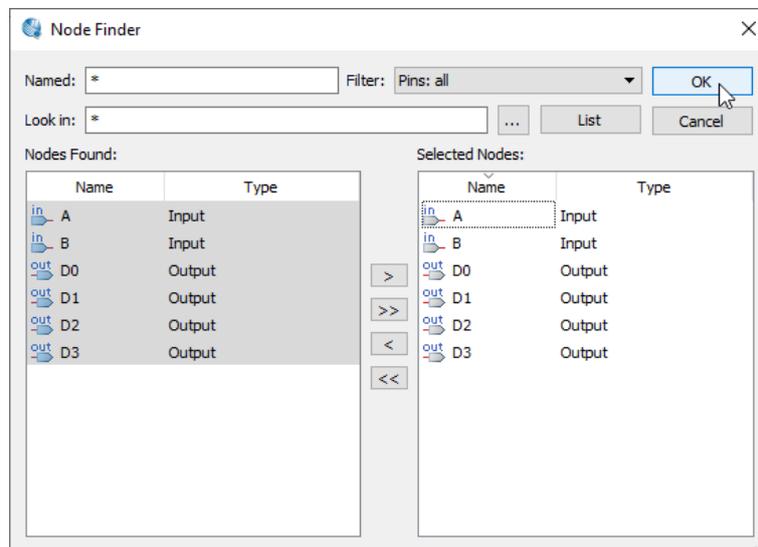


Figura 35: Sinais do projeto selecionados

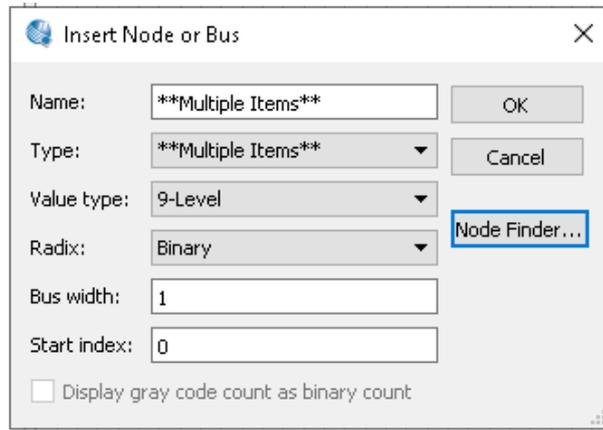


Figura 36: Janela de inserção

Após, a janela de simulação se abrirá com os sinais do projeto, como mostra a Figura 37 Observe que apenas os sinais tipo pinos podem ser simulados.

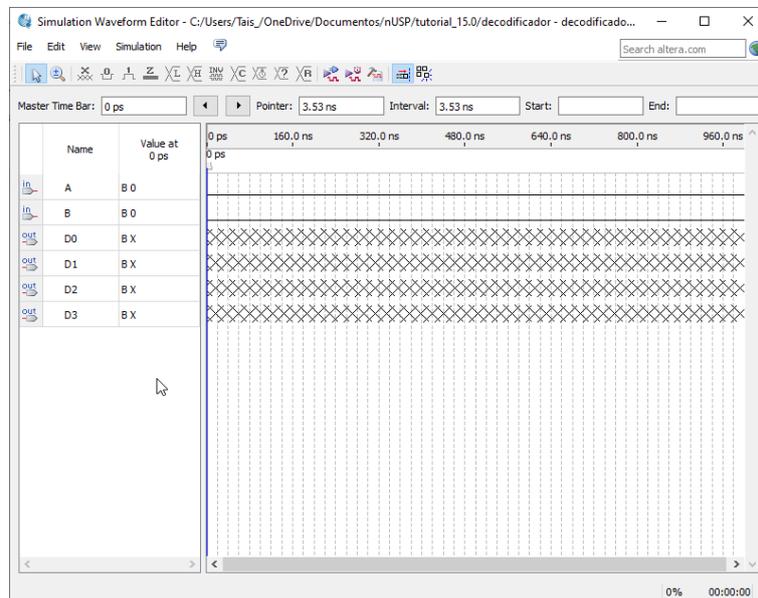


Figura 37: Janela de geração de ondas

No menu de ferramentas, clique em [file](#) e salve o arquivo na pasta do projeto, com o mesmo nome do projeto e com extensão .vwf, conforme as Figuras 38 e 39.

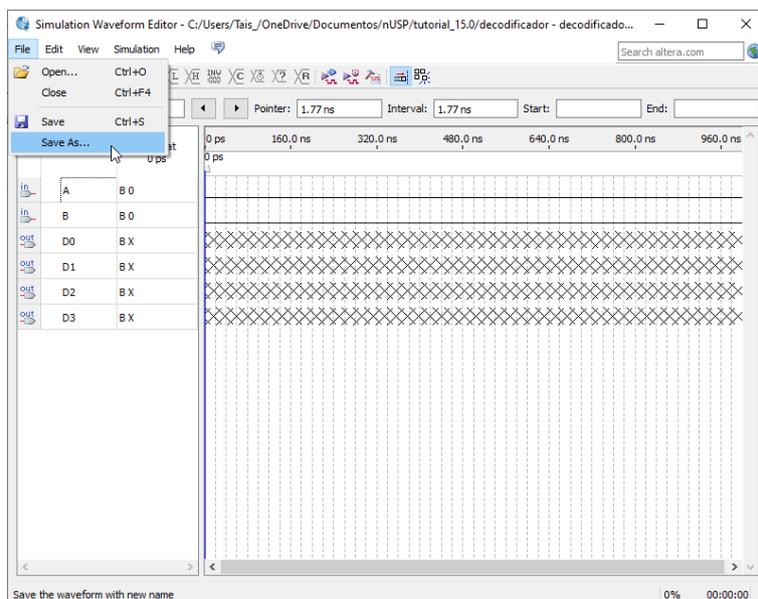


Figura 38: Janela de geração de ondas

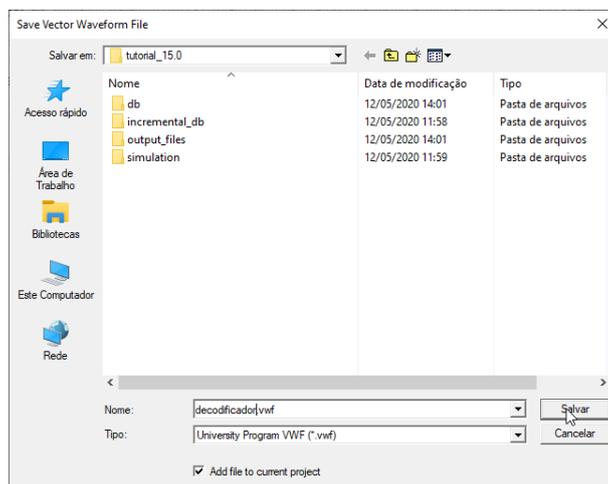


Figura 39: Pasta de destino

Na janela 39, devem ser inseridos nos sinais de entrada valores que possibilitem verificar se o funcionamento do circuito está como desejado, como mostra a Figura 40.

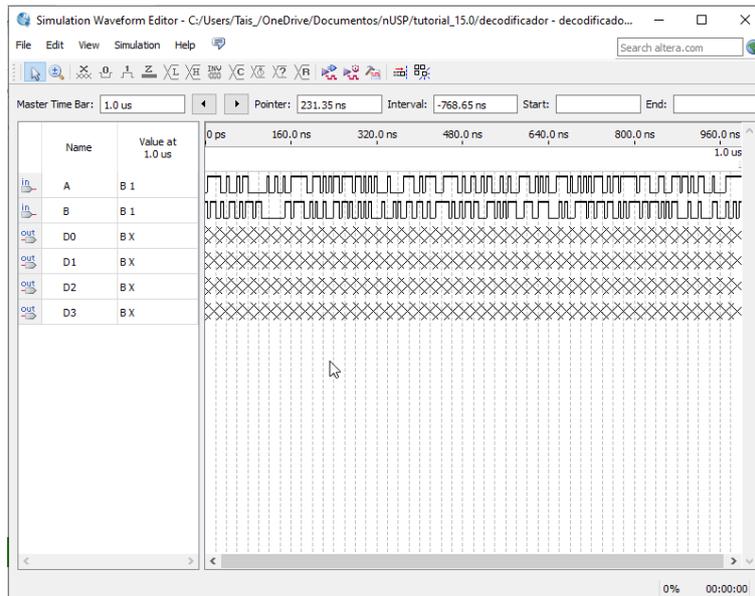


Figura 40: Sinais das entradas inseridos na janela de simulação

Após serem inseridos todos os sinais de entrada, basta simular. Selecione o botão na barra de ferramentas, indicado na Figura 41, e a simulação dará início.

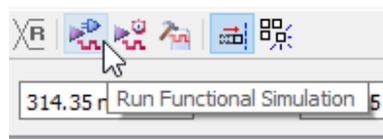


Figura 41: Barra de ferramentas de simulação

A janela de progresso da simulação será mostrada (como na Figura 42) e, se tudo estiver correto, a janela com as formas de onda do resultado da simulação se abrirá, como mostra a Figura 43.

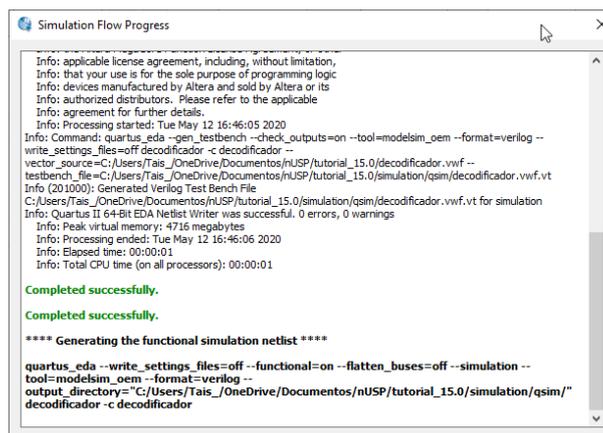


Figura 42: Janela de progresso da simulação

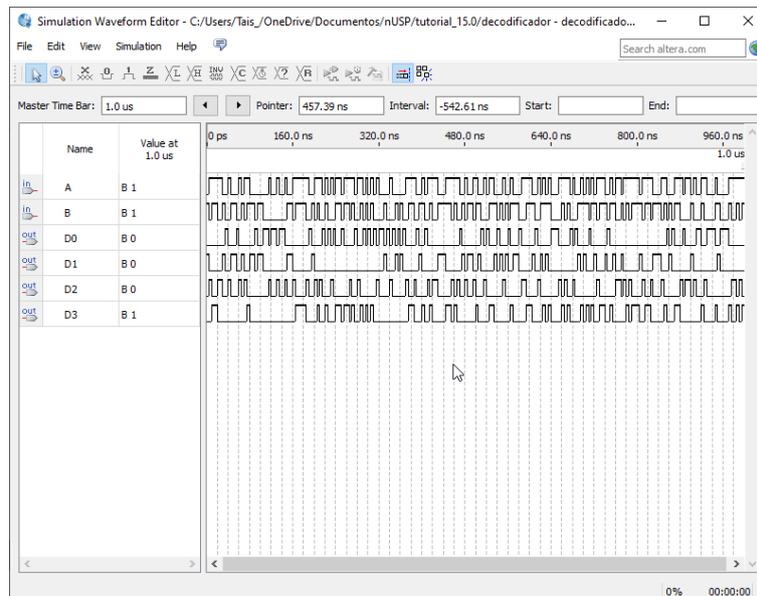


Figura 43: Resultado da simulação

Caso seja necessário alterar os valores dos sinais de entrada, deve-se repetir os passos anteriores.

6 Simulando circuitos projetados: ModelSim-Altera

A simulação de um projeto se faz necessária quando o projetista quer ter certeza de que seu projeto, ou parte de seu projeto, foi logicamente projetado.

6.1 Criando um novo arquivo de simulação

Primeiramente abra o software [ModelSim-Altera Starter Edition](#) e aparecerá uma janela conforme a Figura 44

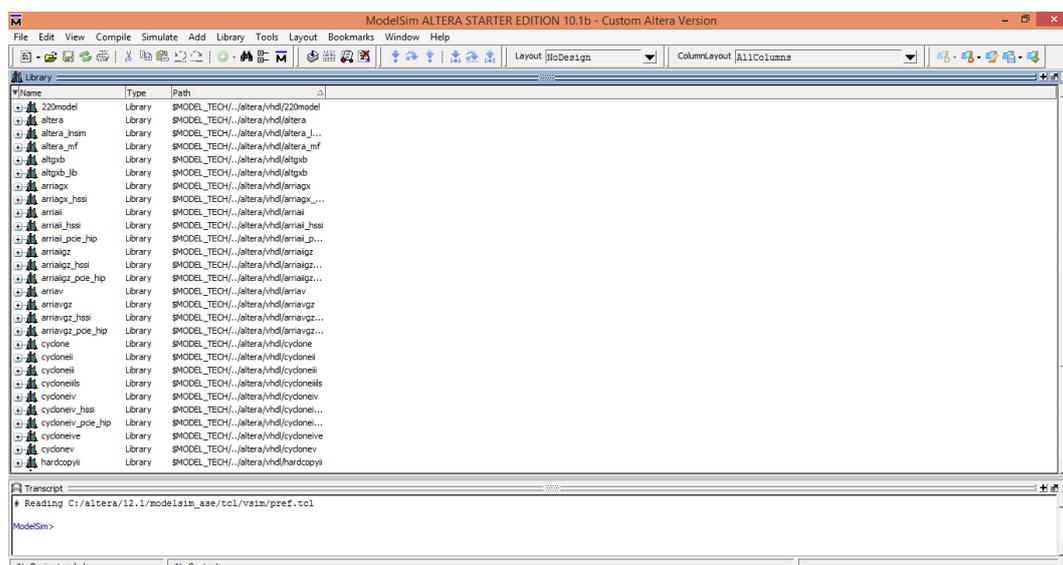


Figura 44: Janela inicial do ModelSim

Na barra de ferramentas, selecione [File...](#) depois [Change Directory...](#) e em seguida localize a pasta do projeto montado no Quartus II (Figura 45).

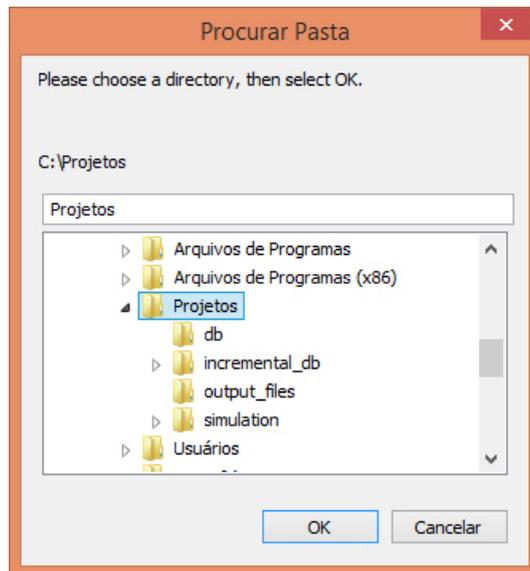


Figura 45: Janela mudança de diretório

Em seguida, selecione na barra de ferramentas, **File**, depois **New** e em seguida **Library...**, deverá abrir uma janela como mostra a Figura 46. Será sugerido um nome padrão (**work**), você pode deixar o nome padrão ou renomar para o nome que desejar, lembrando as regras do nome são iguais às da criação do projeto no Quartus II.

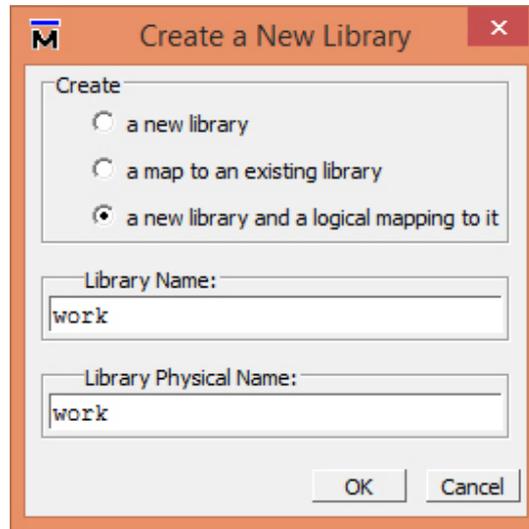


Figura 46: Janela de criação de uma nova biblioteca

Continuando, selecione na barra de ferramentas, a opção **Compile** e em seguida **Compile...**, abrirá uma janela (Figura 47) mostrando os arquivos do projeto, entre na pasta **simulation** e subsequentemente, entre na pasta **modelsim**, dentro da mesma, haverá alguns arquivos, dentre eles, um com extensão **.vho** com o mesmo nome do projeto feito no Quartus II, selecione-o e clique em **Compile** e em seguida em **Done**.

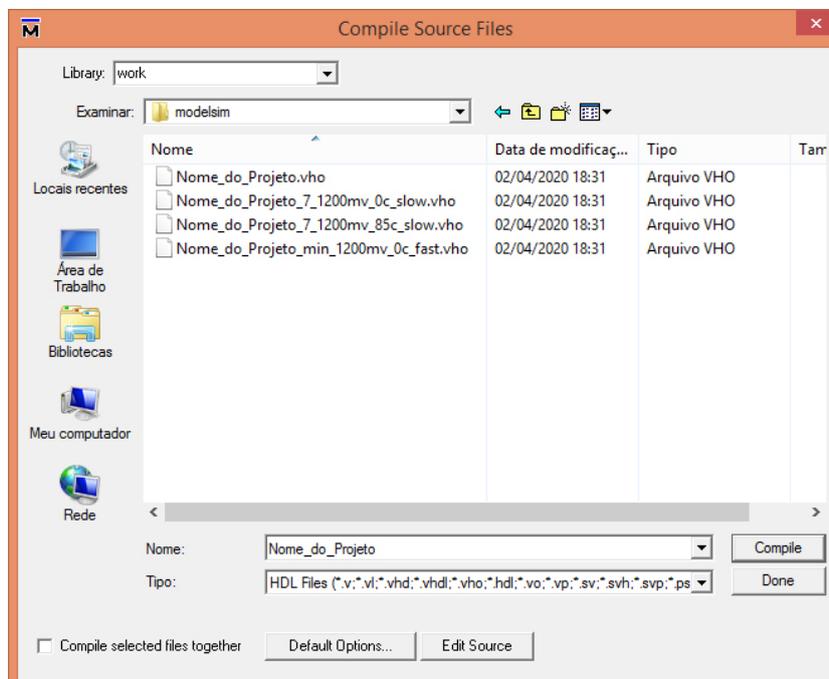


Figura 47: Janela de compilação

6.2 Configurando e executando o arquivo de simulação

Após realizar os passos acima, vá na barra de ferramentas e selecione **Simulate** e em seguida **Start Simulation**, abrirá uma janela listando as bibliotecas, localize a biblioteca criada no passo anterior (Figura 46) e expanda os arquivos da biblioteca até aparecer um arquivo escrito **structure** (Figura 48), selecione-o e clique em **OK**.

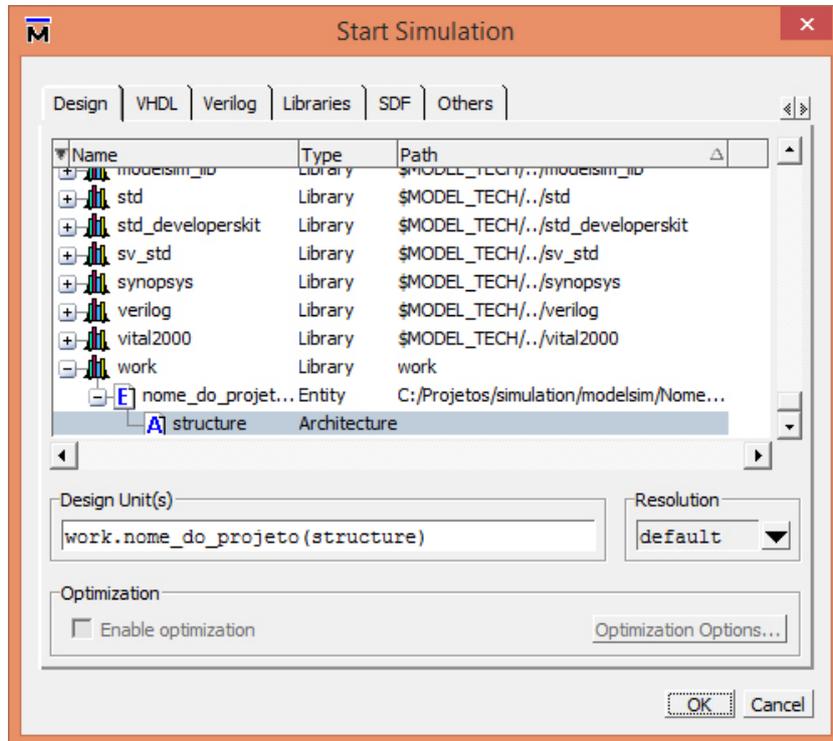


Figura 48: Janela de início da simulação

Executando o passo anterior, abrirá a janela de simulação do ModelSim (Figura 49). Se a Janela de **Wave** não estiver visível, vá na janela de ferramentas e selecione **View** e em seguida **Wave**.

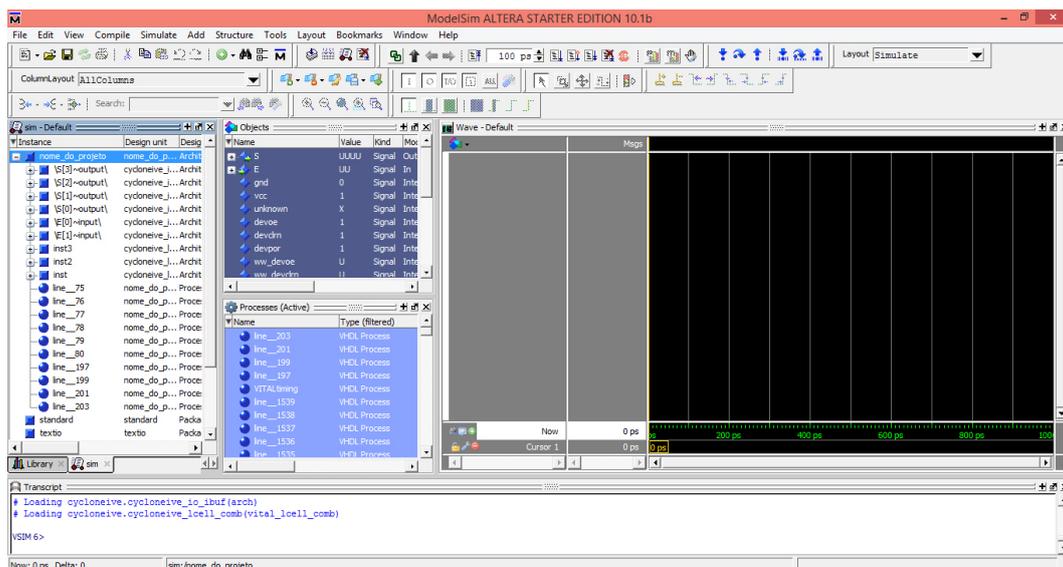


Figura 49: Janela de simulação

A janela do meio, chamada de **Objects**, listará os pinos e entrada e saída definidos no projeto. Pode-se expandí-los clicando no **+**. Clicando com o lado direito do mouse em um pino de entrada ou saída, selecione **Add Wave** (Figura 50).

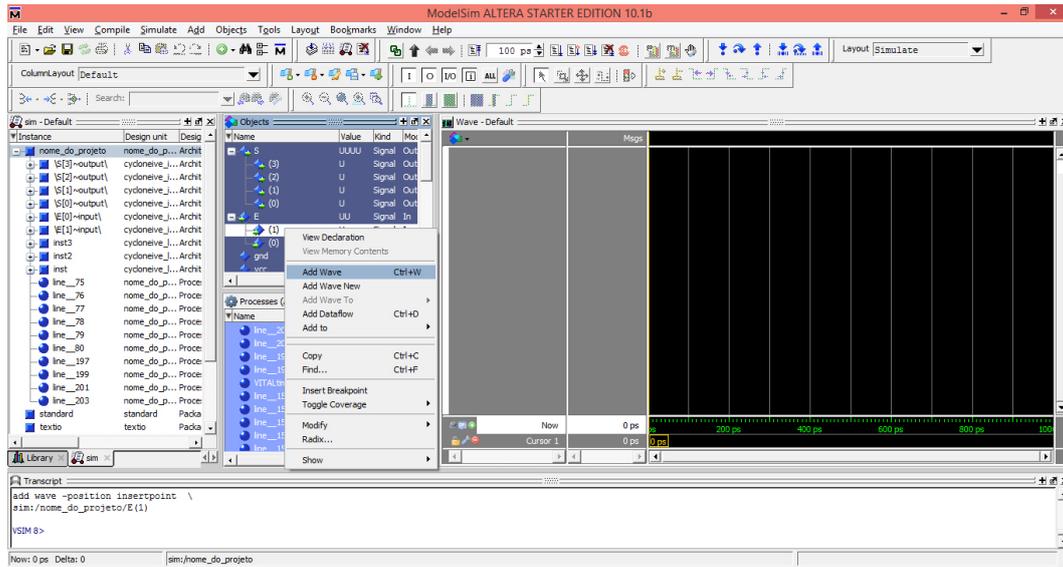


Figura 50: Adicionar waves na janela de simulação

Após adicionar todas as **waves** dos pinos de entrada e saída, pode-se observar que na janela de **Wave** estará listado todos os pinos adicionados. Vamos configurar o formato de onda dos pinos de entrada para que seja possível visualizar as ondas dos pinos de saída. Para isso clique com o lado direito do mouse no pino de entrada (Figura 51) e selecione a opção que lhe for conveniente, neste exemplo, selecione **Clock...**

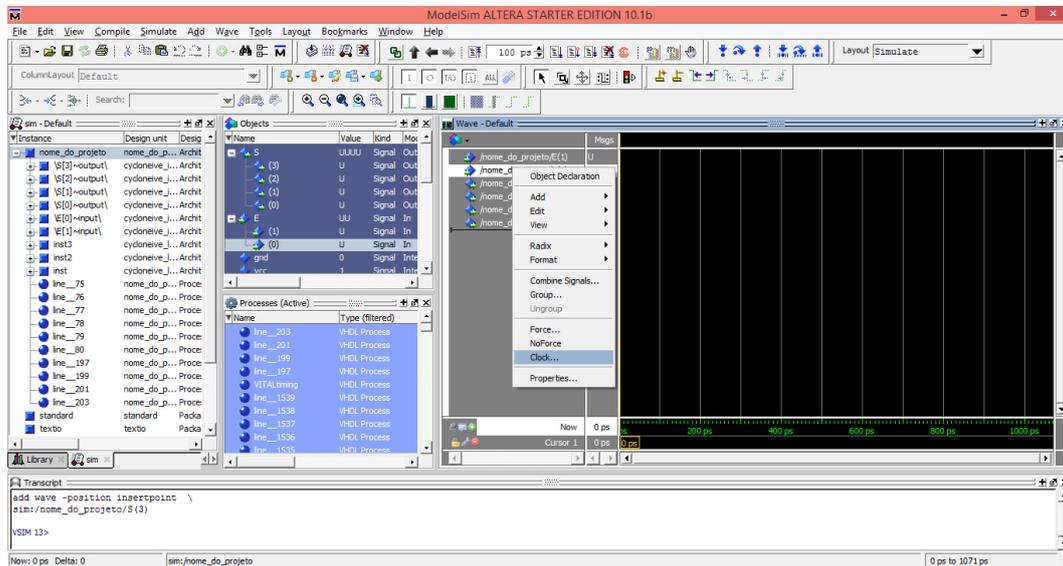


Figura 51: Adicionar formato de onda nos pinos de entrada

Para este exemplo, deixe como esta e apenas dê **OK**. No segundo pino de entrada, seleccione **Clock...**, e configure, por exemplo, com um período de **200** e com **First Edge** seleccionado como **Falling** (Figura 52), em seguida clique em **OK**.

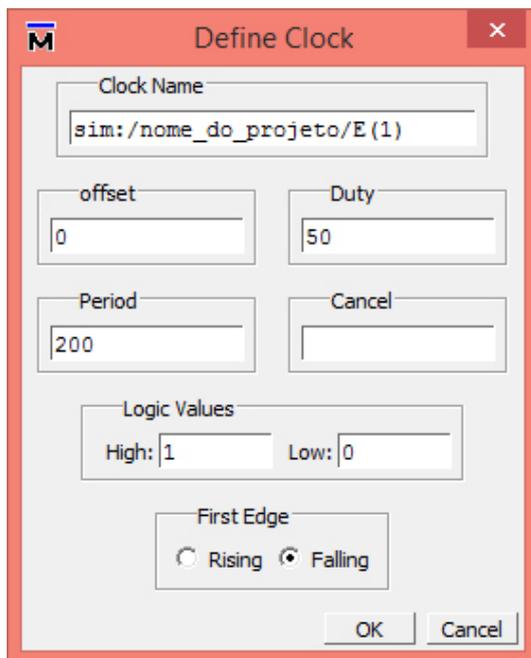


Figura 52: Configurar formato de onda nos pinos de entrada

Finalmente, clique no botão  ou aperte **F9** para iniciar a simulação. Após apertar algumas vezes o botão de simulação, pode-se observar o formato de onda nos pinos de saída (Figura 53).

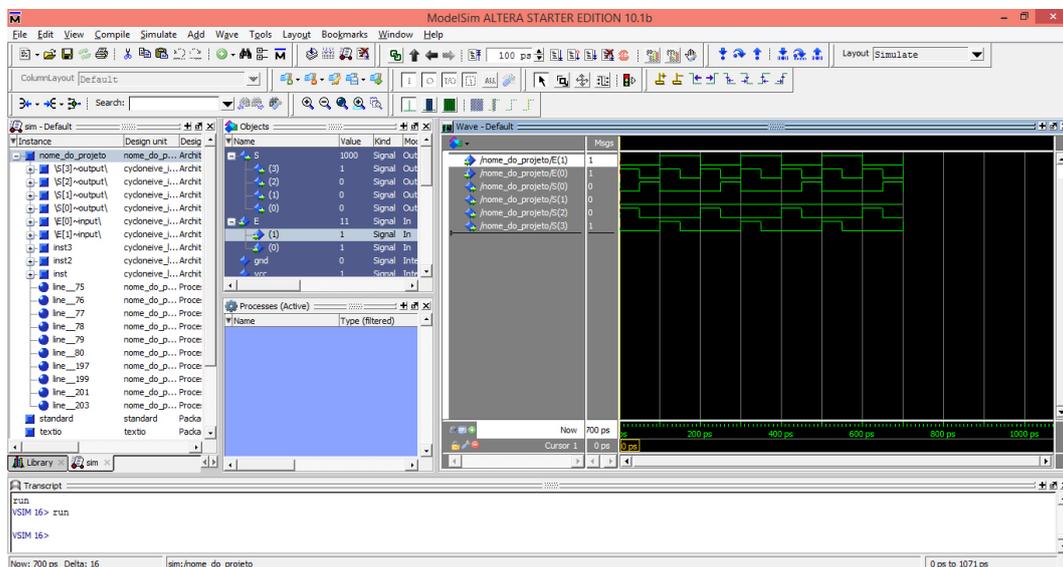


Figura 53: Resultado da simulação

7 Atribuição de pinagem

Antes de passar o programa para o dispositivo FPGA, que se encontra na placa a ser utilizada, é preciso atribuir cada uma das entradas e saídas do programa escrito aos pinos do dispositivo. Isso pode ser feito de maneira manual ou automática, através da importação dos pinos.

7.1 Através da atribuição manual dos pinos

Para atribuição manual, é feito uso da ferramenta Pin Planner. Para acessá-la, basta acessar a barra “Assignments”, como mostrado na figura 54

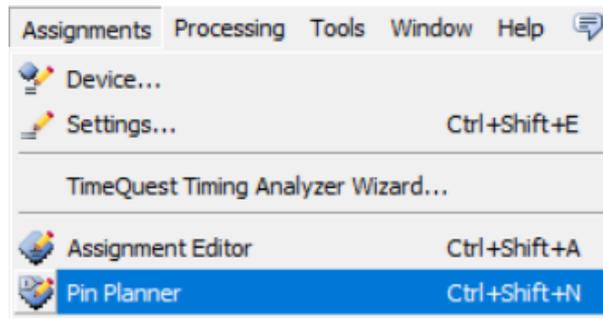


Figura 54: Acessar Pin Planner

Com isso, a ferramenta será aberta. As entradas e saídas estabelecidas na entidade do programa estarão listadas no ambiente **All Pins**, com suas direções já definidas (input, output ou input/output).

Para atribuir cada uma das interfaces a um pino físico da placa, basta selecionar o pino desejado na coluna “Location”.

Na Figura 55, a exemplo, nota-se que o OUTPUT f é associado ao pino J7. Os INPUTS a e b estão associados aos pinos V21 e W22.

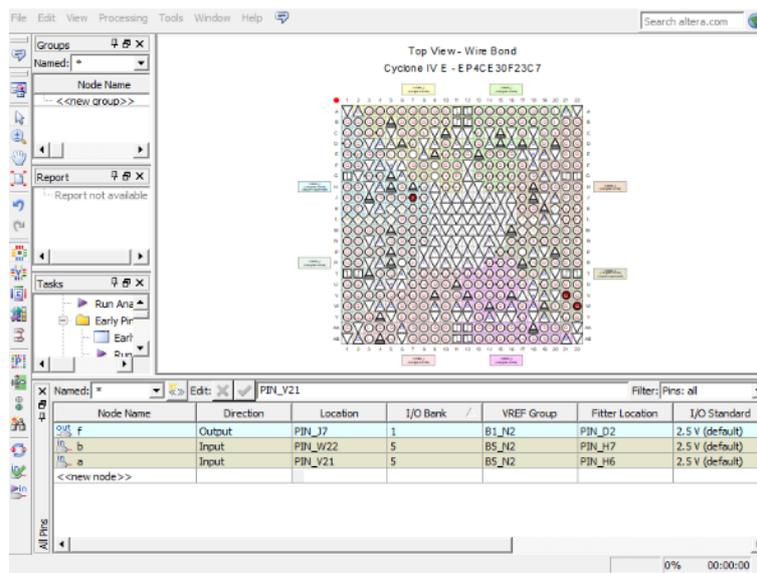


Figura 55: Pinos associados na ferramenta Pin Planner

Em seguida, é necessário compilar o projeto para que as modificações de pinagem sejam efetivadas.

Como é possível observar na figura acima, o Pin Planner apresenta graficamente o dispositivo com seus pinos posicionados em forma de matriz, com letras identificando as linhas e números as colunas.

7.2 Através da importação do arquivo de pinagem

Após realizar a atribuição da pinagem pelo método anterior e compilar novamente o projeto, o Quartus irá gerar um arquivo na pasta do projeto com o nome da entidade e extensão .qsf. Esse arquivo também pode ser gerado em Assignments: Export Assignments. O arquivo contém as informações da atribuição feita aos pinos da placa e pode ser importado em projetos futuros que usem a mesma atribuição.

Para importar o arquivo .qsf do projeto anterior, basta acessar a opção “Assignments”: “Import Assignments...”, como representado na figura 56

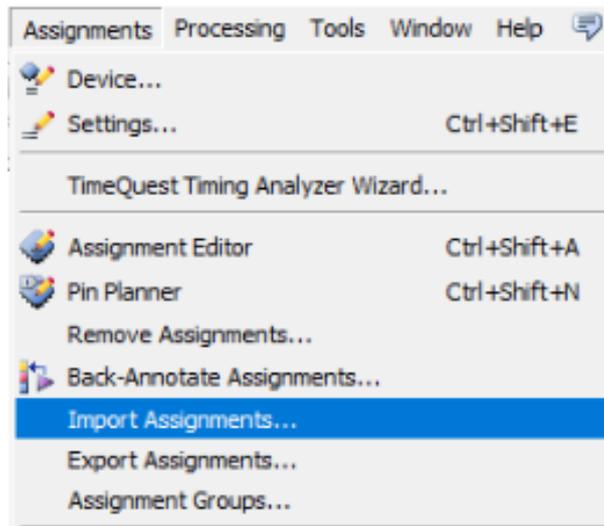


Figura 56: Acessar Import Assignments

Feito isso, será aberta uma nova caixa de diálogo, como mostrado na Figura 57. Nessa caixa, deverá ser inserido o arquivo a ser importado. Para selecionar o arquivo .qsf do projeto, é preciso clicar no botão (...) e navegar até a pasta do projeto, como mostrado na figura 58.

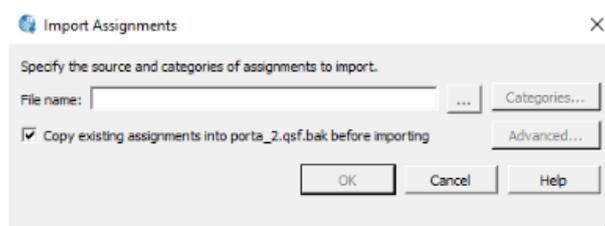


Figura 57: Caixa de diálogo para importar atribuição

| Nome | Data de modificação | Tipo | Tamanho |
|----------------|---------------------|-------------------|---------|
| db | 15/04/2020 23:23 | Pasta de arquivos | |
| incremental_db | 11/04/2020 18:18 | Pasta de arquivos | |
| output_files | 15/04/2020 23:02 | Pasta de arquivos | |
| simulation | 11/04/2020 18:26 | Pasta de arquivos | |
| porta_1.qsf | 15/04/2020 23:03 | Arquivo QSF | 3 KB |

Figura 58: Selecionar arquivo QSF do projeto anterior

Uma vez selecionado o arquivo, o mesmo poderá ser importado e os pinos, após compilação, serão automaticamente associados às entradas e saídas da entidade descrita pelo programa VHDL, como mostrado na figura 59.

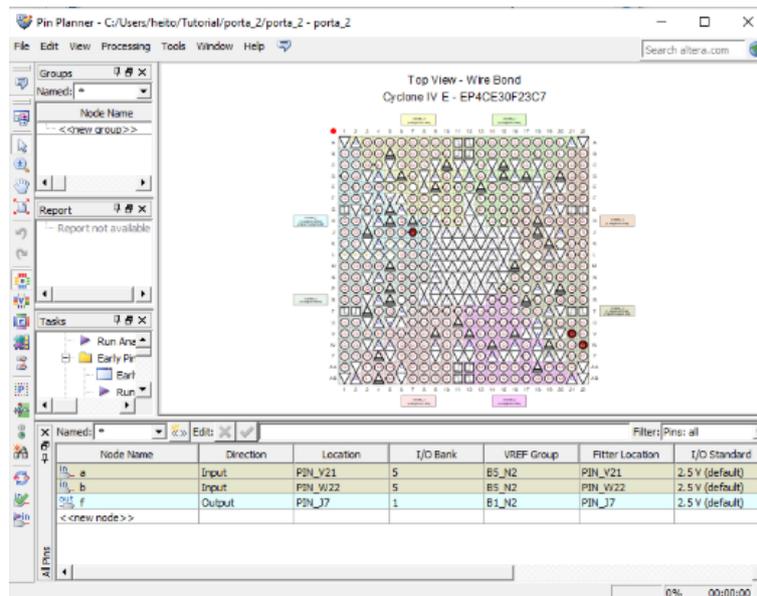


Figura 59: Pin Planner após importação

Essa ferramenta é útil para fazer a atribuição de pinos de diferentes projetos que usam a mesma interface. Também é possível importar arquivos prontos fornecidos pelo fabricante da placa a fim de economizar tempo na associação com cada periférico da placa utilizada.

8 Síntese no dispositivo

Caso a simulação corresponda com o funcionamento desejado do projeto, o próximo passo é fazer a síntese desse projeto no dispositivo. Deve-se inserir os pinos como mostrado no item anterior, recompilar o projeto para reconhecimento dos pinos e configurar o circuito projetado no dispositivo lógico programável. O dispositivo FPGA que será configurado é o EP4CE30F23C-7 da família CYCLONE IV-E que se encontra na placa didática Mercúrio IV da MACNICA. Essa placa deve ser conectada corretamente ao computador através de uma saída USB com suas chaves ON/OFF ligadas e a chave Prog FPGA selecionada. Na barra de ferramentas do software Quartus II pode selecionar o botão mostrado na Figura 60, ou, alternativamente, acessá-lo através do menu de ferramentas, como mostrado na Figura 61.

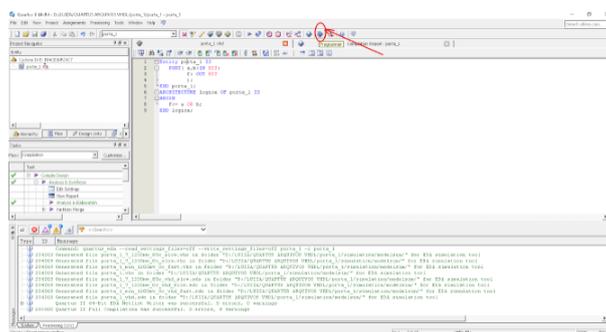


Figura 60: Acesso ao programador pelo botão

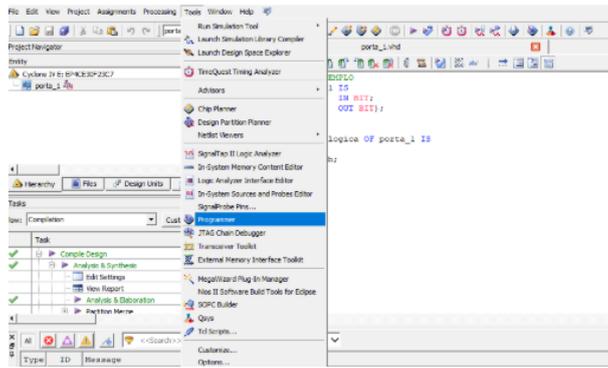


Figura 61: Acesso pelo menu de ferramentas

Selecionado o programador, a janela mostrada na Figura 62 será aberta. Nela pode ser visto o dispositivo que será configurado (EP4CE30F23) e o hardware selecionado USB-Blaster [USB-0]. Então, é só selecionar Program/Configure, e em seguida START.

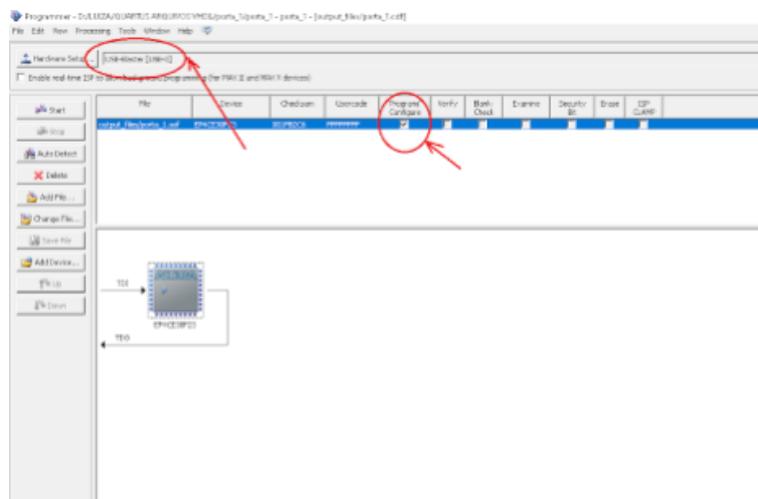


Figura 62: Janela do programador

Caso apareça "No Hardware", como mostra a figura 63, Deve-se clicar em "Hardware Setup..." para inserir o hardware e selecionar o "USB-Blaster".

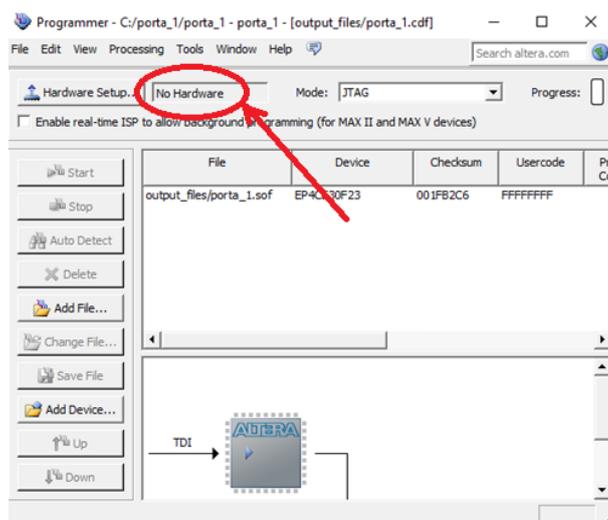


Figura 63: Janela de programação sem identificação do hardware