



PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM ATRAVÉS DE UM TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Alexandre A. de Almeida – e-mail: aamaralalmeida@gmail.com

UNESP, Departamento de Engenharia Elétrica – DEE

Endereço: Av. Brasil Centro nº 56

CEP . 15385 000 – Cidade – Ilha Solteira- Estado – SP

Suely C. A. Mantovani – e-mail: suely@dee.feis.unesp.br

UNESP, Departamento de Engenharia Elétrica – DEE

Endereço: Av. Brasil Centro nº 56

CEP. 15385000 – Cidade – Ilha Solteira- Estado – SP

Resumo: Neste artigo mostra-se como um trabalho de conclusão de curso pode ser um instrumento importante para complementar o ensino-aprendizagem de um curso de engenharia elétrica. Para isso propõe-se a implementação do acionamento e controle da abertura de um portão deslizante que faz parte do Módulo Didático do fabricante DEGEM Systems (Unit SIM 109 – Electrically Operated Gate). Este módulo é constituído de um portão deslizante e duas chaves de final de curso, onde a parte deslizante do motor é ligada a um eixo que pode ser controlado por um motor de indução, por exemplo, ou qualquer outro motor que ofereça um torque adequado. Optou-se por usar no controle do portão deslizante um motor de passo, a placa de desenvolvimento do fabricante ALTERA - DE2, o software quartus II, e a linguagem de descrição de hardware, Verilog HDL.

Palavras-chave: Controle, Acionamento de motores, Chave fim de Curso, FPGA.

1. INTRODUÇÃO

Baseado na proposta do projeto pedagógico dos cursos de Engenharia Elétrica procura-se tornar os cursos mais atrativos, fugindo um pouco do método pedagógico tradicional de ensino, lousa e giz, e bastante teoria, para mais laboratório onde se desenvolve a prática, de maneira a atingir as necessidades dos estudantes de hoje que vivem uma realidade diferente com a mudança trazida pelas novas tecnologias. Incentiva-se hoje, o início dos trabalhos de Iniciação Científica (MOLHOMEM *et al*, 2010), (NEWMAN *et al*, 2002) um pouco mais cedo, como forma de motivação e retenção no curso. Outra forma importante e de complementação do aprendizado durante o curso de engenharia elétrica é a realização do trabalho de conclusão de curso que proporciona a todos os alunos a oportunidade de pesquisa e aplicação dos vários conceitos adquiridos nas disciplinas, pois se constitui instrumento obrigatório dos currículos atualmente, direcionado na solução de um problema. Em vista

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR É O
DESAFIO DE EDUCAR**



disso, descreve-se neste artigo um trabalho de conclusão de curso que versa sobre acionamento de um motor de passo acoplado a um portão deslizante controlado por *hardware* reconfigurável, e os aspectos importantes do ensino-aprendizagem que ele proporciona.

Com o trabalho desenvolvido, procura-se minimizar o problema que alguns estudiosos apontam como fato preocupante, o distanciamento entre os avanços tecnológicos e a real situação da maioria das escolas e, fundamentalmente mostrar os bons resultados com a formação e qualificação dos professores que nossas universidades tem buscado, no sentido de torná-los aptos a utilizar tais tecnologias no processo de aprendizagem dos alunos. A globalização nas formas de produção e a organização do mercado de trabalho atual passam a exigir de maneira irreversível, um tipo de agente produtivo além de qualificado em relação ao uso das tecnologias, também capaz de acompanhar as sucessivas mudanças e avanços das mesmas.

A automação e o acionamento de máquinas elétricas, sempre foram temas amplamente discutidos e de suma importância na área da engenharia elétrica, pois é a partir deste acionamento que motores de vários tipos, tamanhos, velocidades e torques passam a funcionar. Podemos encontrar aplicações em nosso cotidiano, em grandes indústrias até dentro de nossas casas, como é o caso dos portões eletrônicos, acionados por controle remoto.

O tipo de acionamento depende do tipo de máquina, por exemplo, para o acionamento de um motor de passo que não exige uma fonte de alimentação muito elevada, pode-se efetuar seu acionamento através de flip-flops, microcontroladores ou também, com dispositivos lógicos programáveis como os FPGAs (*Field Programmable Gate Array*).

O trabalho de conclusão de curso em questão tem por objetivo o controle de um portão eletrônico deslizante que tem acoplado ao seu eixo um motor de passo. Seu acionamento é realizado por uma placa da ALTERA-DE2 que contém dispositivos lógicos programáveis e recursos importantes que possibilitam o controle da abertura e fechamento do portão através de um botão e chaves de fim de curso instaladas no portão.

A placa DE2 da Altera possui um FPGA – EP2C35 que funciona através de programação que pode ter como entrada arquivos gráficos ou esquemáticos, ou programas em uma linguagem de descrição de *hardware* -HDL. Neste caso, é utilizada a linguagem de descrição de hardware Verilog HDL. O portão eletrônico deslizante faz parte do kit da *DEGEM System*, disponibilizado para execução deste projeto. Na programação é usada a plataforma de desenvolvimento - o software Quartus II.

Este artigo está organizado em 5 seções, contando com esta introdução. Na seção 2 são apresentados a metodologia, os detalhes da placa DE2 da ALTERA, bem como a linguagem de programação utilizada. O desenvolvimento do projeto é visto na seção 3. Mostram-se na seção 4 as simulações realizadas no software Quartus II. Considerações finais são apresentadas na seção 5 seguido das Referências.

2. METODOLOGIA

Apresenta-se neste item a ideia geral do trabalho em forma de um diagrama de blocos, figura 1. O trabalho em si, consiste no acionamento de um motor de passo acoplado a um portão deslizante. Para isso será utilizado a plataforma de desenvolvimento, o software Quartus II e a placa DE2 (*hardware*), do fabricante – Altera . O software permite a implementação de programas em esquemático ou em texto - através de uma linguagem de descrição de *hardware*, para realizar circuitos digitais e junto com a placa, permitem a programação desses circuitos e a comunicação com o meio externo através de um barramento duplo de 40 pinos que podem ser aplicados no controle de processos.



O acionamento de um motor de passo pode ser realizado de várias maneiras, porém a introdução da plataforma de desenvolvimento e a placa DE2 do fabricante ALTERA na realização deste projeto, tem a finalidade de reforçar e/ou aprofundar os conhecimentos adquiridos durante o curso, utilizando temas práticos inspirados no mundo real e dispositivos usados nas indústrias atualmente.

Na figura 1 a lógica de controle é programada na Placa DE2 que realiza o acionamento do motor utilizando um circuito de potência, com a carga sendo constituída pelo portão deslizante. As chaves fim de curso controlam a máxima abertura ou o mínimo fechamento do portão.

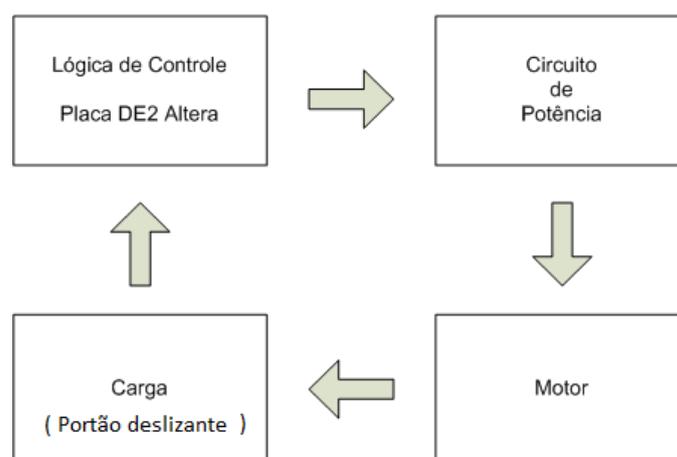


Figura 1 - Diagrama de blocos do projeto.

2.1. Hardware-Placa DE2

A placa DE2, mostrada na figura 2 possui um FPGA da família Cyclone® II, EP2C35F672C6 em um pacote de 672 pinos e com 20.000 células. Todos os componentes importantes na placa estão conectados aos pinos do chip, disponibilizando ao usuário todas as operações da placa. Para experimentos simples, a placa DE2 contém o número suficiente de botões robustos, LEDs, e displays de 7 segmentos. Para experimentos mais complexos, tem-se as memórias SRAM, SDRAM, e Flash, como também um display de 16 x 2 caracteres. Para experimentos que requerem um processador e interfaces simples de I/O, é fácil de instanciar o processador da Altera Nios II e usar os padrões de interface como o RS-232 e o PS/2. Finalmente, é possível conectar outro usuário da placa DE2 por meio de duas portas paralelas. Para fornecer o máximo de flexibilidade para o usuário, todas as conexões são feitas através do dispositivo FPGA Cyclone II. Com estes recursos o usuário pode configurar o FPGA para programar qualquer projeto no sistema. (ALTERA CORPORATION, 2006).

O ambiente de desenvolvimento de projeto da Altera, software Quartus II (ALTERA CORPORATION, 2011) é amigável, onde o usuário pode se familiarizar rapidamente com o programa e os tipos de entrada de projeto, compilação e reconhecimento de erros de sintaxe, simulação e também permite a programação da placa DE2. Os principais modos de entrada de projeto são modo gráfico ou esquemático, e linguagens de descrição de hardware (*Hardware Description Language-HDL*) que inclui as linguagens AHDL(*Altera Hardware Description*



Language, VHDL(*Very High Speed Integrated Circuit (VHSIC) Hardware Description Language*) e Verilog HDL. O usuário tem a liberdade na escolha de qual dessas linguagens usar para a realização e o desenvolvimento de seus circuitos digitais (ALTERA CORPORATION,2006).

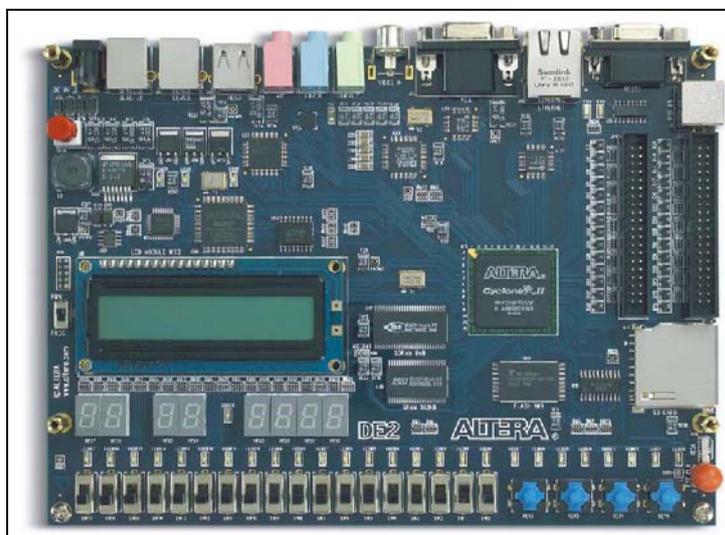


Figura 2 - Placa DE2 Altera (ALTERA CORPORATION, 2006)

O uso de um dispositivo programável proporciona a mesma funcionalidade dos dispositivos lógicos individuais, com uma série de vantagens como, ocupar menos espaço na placa, menos necessidade de potência, grande confiabilidade e facilidade na manutenção e, baixo custo na fabricação. A tecnologia FPGA suporta a implementação de circuitos lógicos mais complexos e relativamente grandes. O aprimoramento desta tecnologia disponibilizou uma grande quantidade de dispositivos que são reprogramáveis pelo usuário.

2.2. Linguagem Verilog HDL

Verilog HDL é uma das linguagens de descrição de hardware bastante utilizada, atualmente, por quem trabalha com sistemas de desenvolvimento usando dispositivos lógicos programáveis – *Programmable Logic Devices* (PLDs), FPGAs, CPLDs (*Complex Programmable Logic Devices*), etc. e foi escolhida para o desenvolvimento deste projeto por sua semelhança com a linguagem C.

Com esta linguagem ou qualquer outra linguagem de descrição de hardware, os dispositivos não são programados com uma lista de instruções como um computador ou DSP (*Digital Signal Processing*), ao invés disso seu hardware interno é configurado eletronicamente conectando e desconectando pontos no circuito. Sabe-se da disponibilidade de outras linguagens como VHDL, que é uma das mais usadas atualmente e outras que são usadas para programação de dispositivos lógicos mais simples, tais como CUPL, ABEL, PALASM.

Um projeto Verilog consiste em uma hierarquia de módulos. Os módulos se comunicam através de um conjunto de entradas, saídas e portas bidirecionais declaradas. Internamente, um módulo pode conter qualquer combinação das seguintes opções: declaração de variáveis (wire, reg, integer, etc), blocos de instrução simultânea e sequencial, e outros módulos (sub-



hierarquia). Declarações sequenciais são colocadas dentro de um bloco begin/end e executadas em ordem sequencial dentro do bloco. Mas, os blocos entre si são executados simultaneamente, qualificando a linguagem Verilog como um fluxo de dados (THOMAS *et al*,2002).

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O aluno é orientado de forma a organizar os seus conhecimentos adquiridos durante o curso, para que sejam aplicados na realização das várias etapas no desenvolvimento do projeto. As etapas de realização do projeto envolvem a escolha do motor adequado, do circuito de acionamento, do circuito de potência, das conexões à placa da Altera e ainda, a realização do algoritmo de controle, ou programa em uma linguagem de descrição de hardware usando o ambiente de desenvolvimento de projeto, programação e os testes para abertura e fechamento do portão. Faz-se a seguir uma breve descrição dos componentes e procedimentos do projeto.

3.1. Portão Deslizante

O portão deslizante faz parte de um Módulo Didático do fabricante *DEGEM* Systems, o Unit SIM 109 - *Electrically Operated Gate*. O kit, figura 3 é composto de um portão deslizante e duas chaves fim de curso XCK – P121.

O kit com dimensões, 21 X 90 centímetros (altura X comprimento), tem um portão com 37 centímetros de abertura, que é conectado a um eixo que ao girar no sentido horário ou anti-horário faz com que o portão deslize para frente ou para trás, conforme o desejado. As chaves fim de curso (do inglês - *micro switch*) são acionadas por uma saliência que se move juntamente com o portão. Quando a chave fim de curso é acionada através da saliência, o movimento do portão é interrompido. Chave fim de curso refere-se a um comutador elétrico que é capaz de ser atuado por uma força física muito pequena. Internamente, a chave fim de curso contém duas molas e ambas são condutoras, conduzindo corrente através da chave.

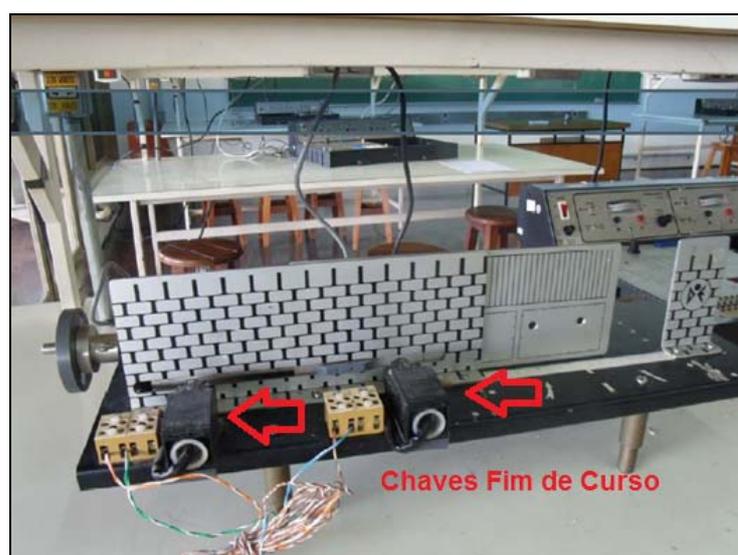


Figura 3 - Portão deslizante e chaves fim de curso.



3.2. Motor de Passo

A escolha do motor de passo para ser acoplado ao eixo do portão deslizante foi motivada pela facilidade de seu acionamento e controle. A desvantagem nessa escolha é a limitação da velocidade máxima atingida por este motor para que não haja perda de sincronismo. Porém, isto não constitui um problema aos objetivos deste projeto. O motor de passo usado no projeto é fabricado pela Astrosyn, 23LM-C004, figura 4, tem precisão de 1,8 graus por passo, suporta uma corrente de 1,2 A por fase e seus enrolamentos tem, aproximadamente, 6 ohms cada. É do tipo unipolar, sendo possível esta verificação pelo fato de o mesmo possuir uma derivação central (*center tape*) entre o enrolamento de duas bobinas.

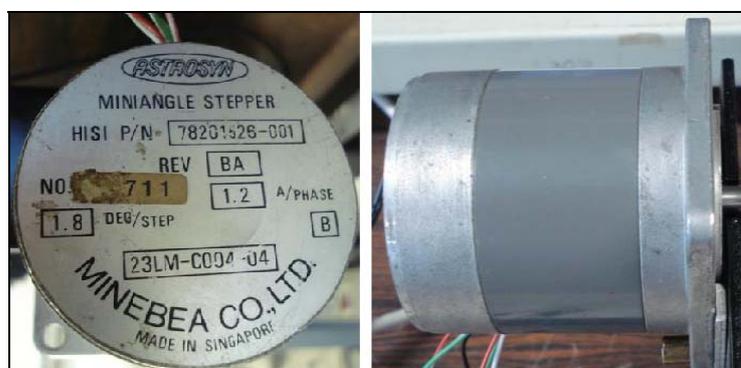


Figura 4 - Motor de passo usado no trabalho.

Os motores de passo podem girar no sentido horário ou no anti-horário, dependendo da sequência de acionamento de seus enrolamentos. O torque desenvolvido pelo motor de passo tem uma relação quase linear com a corrente que é drenada para os enrolamentos (WILDI, 2002). Quando o motor está parado, um fluxo de corrente deve continuar alimentando o último enrolamento que foi excitado para que o rotor se mantenha parado. Pode girar a uma velocidade constante sem que tenha que parar a todo passo. Devido à velocidade constante, a inércia é praticamente zero, levando o motor de passo a suportar cargas que exigem maiores torques.

3.3. Acionamento

O acionamento do motor de passo se dá pela excitação das bobinas na sequência desejada, ou seja, no sentido horário ou anti-horário. Essa excitação das bobinas varia conforme o tipo de passo. No trabalho foi usado o modo de passo inteiro, ou seja, aquele que se observa a excitação de uma bobina por vez, na ordem correta.

O sistema de controle se baseia em um circuito realizado via programação, em linguagem Verilog HDL programado na placa DE2- Altera, cuja frequência está diretamente relacionada com a velocidade de rotação do motor de passo. O circuito amplificador de saída, é usado para suprir a demanda de corrente relativamente elevada, e é constituído de transistores de potência que drenam corrente em torno de 500 mA ou mais.

O torque do motor de passo depende da frequência aplicada à alimentação. Quanto maior a frequência, menor o torque, porque o rotor tem menos tempo para mover-se de um



ângulo para outro. A faixa de partida deste motor é aquela na qual a posição da carga segue os pulsos sem perder passos, a faixa de giro é aquela na qual a velocidade da carga também segue a frequência dos pulsos, mas com uma diferença, não pode partir, parar ou inverter, independente do comando.

3.4. Circuito de Potência

Para o projeto e realização do circuito de potência ou *driver* do motor de passo orienta-se pelas especificações de corrente e tensão do motor que está sendo utilizado, para isso, seguiu-se o esquemático da figura 5. A placa DE2- Altera é ligada ao *driver* de potência para a excitação do motor de passo, por intermédio dos resistores de valor 256 Ω .

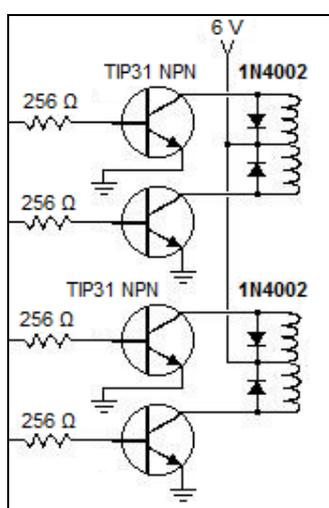


Figura 5 - Esquema do circuito de potência.

3.5. Lógica de Controle

Para a lógica de controle usa-se o ambiente de projeto, o software Quartus II, e a linguagem de descrição de hardware, Verilog HDL. O algoritmo desenvolvido foi baseado no diagrama de blocos do projeto, seguindo o fluxograma da figura 6. Consiste no acionamento do portão através de um botão pré-determinado (bot). O programa entra em modo de espera, aguardando o acionamento do botão. Considerando onde o portão se encontra (aberto, fechado ou entre os extremos), uma ação é executada de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 – Estados do portão

| Estado Atual | Estado Futuro |
|--------------------------|------------------------|
| Portão fechado | O portão irá se abrir |
| Portão aberto | O portão irá se fechar |
| Portão entre os extremos | O portão irá se fechar |



O fluxograma foi ajustado para o caso em que o portão atinge o seu limite de abertura ou de fechamento e a questão da velocidade de deslizamento do portão, considerando as restrições do modelo. As chaves fim de curso do portão deslizante estão posicionadas de maneira que a partir do acionamento das mesmas, o portão não consegue fechar ou abrir totalmente. Tais problemas foram solucionados por programação.

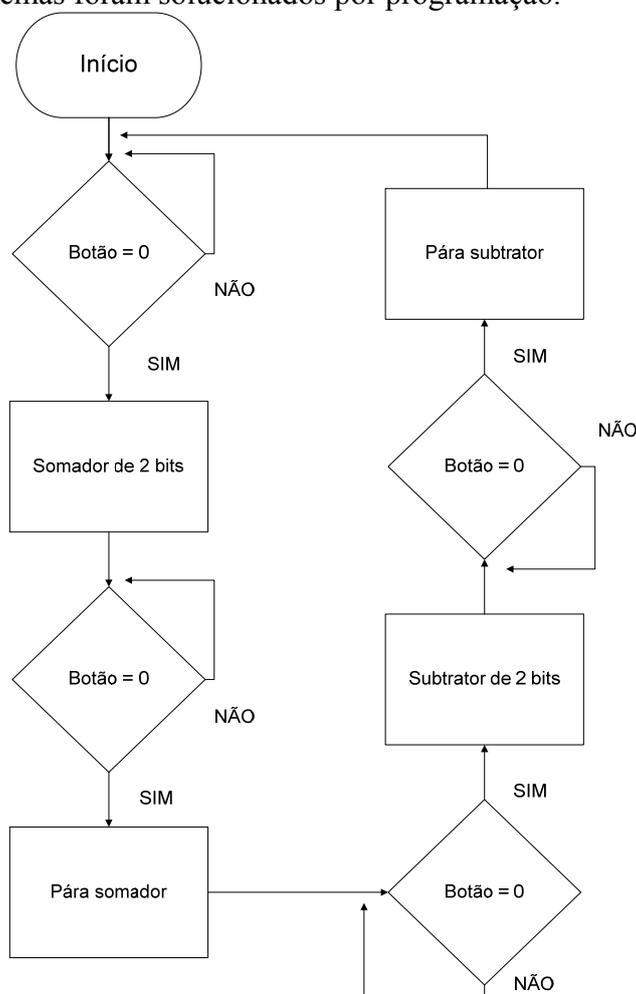


Figura 6 - Fluxograma do programa.

4. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Foram feitas várias simulações com o algoritmo desenvolvido no Quartus II version 9.1 Web Edition. Apresentam-se a seguir, algumas simulações e a especificações dos temas usados em cada uma delas:

- “clk” – (input) é o sinal de relógio ou clock, ou seja, a frequência em que o programa é executado;
- “bot” – (input) botão que ao ser pressionado é levado ao nível zero, do contrário permanece em nível ‘1’;



- “cfc” - (input -dois bits) é a entrada do sinal das chaves fim de curso, tendo valor 2 quando está fechado, valor 1 quando está aberto e valor 3 quando se encontra entre os dois extremos (por isso foi decodificada com dois bits na simulação);

- “s” - (output- 4 bits) sinal de acionamento do driver do enrolamento do motor de passo.
Como o motor possui quatro enrolamentos a ser excitado, o programa desenvolvido possui uma saída para cada um.

Na primeira simulação, figura 7, mostra-se a abertura do portão. O portão está, inicialmente, fechado (“cfc” com valor 2). No momento seguinte o botão é pressionado (“bot” = 0), fazendo com que os enrolamentos sejam excitados e consequentemente acionando o motor. O motor pára ao chegar ao outro extremo, portão aberto (a saída vai para 0).

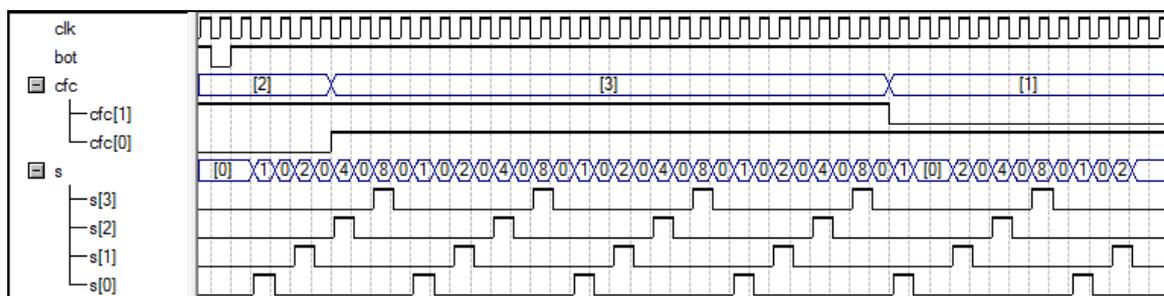


Figura 7 – O portão está abrindo.

Na figura 8 mostra-se o portão fechando. De modo semelhante ao apresentado anteriormente, o botão é pressionado, excitando os enrolamentos e movimentando o motor no sentido contrário, levando o portão a fechar. A simulação não mostra, mas na prática o valor “cfc” demora um pouco para se alterar. Por razões físicas, o portão se abre ou fecha por alguns instantes e o valor do “cfc” mantém-se inalterado, sendo consequência do mau posicionamento das chaves fim de curso.

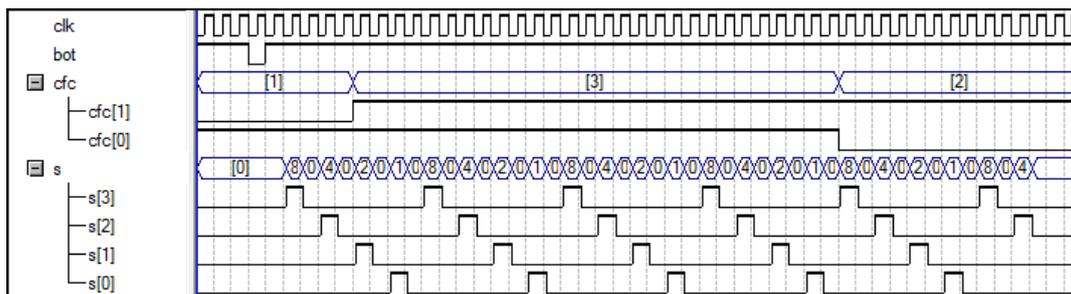


Figura 8 - Simulação do portão fechando.

Na figura 9, o portão está parado entre os extremos e é acionado. Considerando que o programa foi reiniciado e não tem na sua memória a informação se o portão estava abrindo ou fechando, por escolha do programador, o portão seguirá o sentido de fechamento ao ser acionado pela primeira vez.

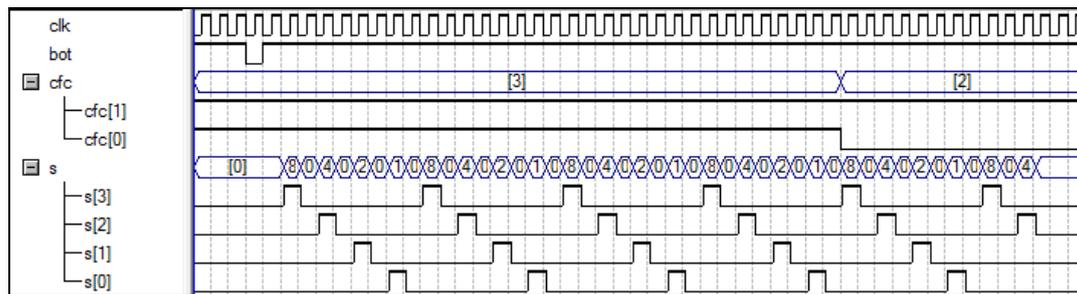


Figura 9 – O portão semi - aberto, fechando

Para ocorrer a mudança de sentido do portão, figura 10, deve-se primeiro parar o portão acionando o botão e depois acioná-lo novamente para que mude de sentido. Nesta simulação mostra-se o uso de um só botão, “bot”, para abertura e fechamento do portão deslizante. De modo semelhante, na figura 11 no sentido inverso.

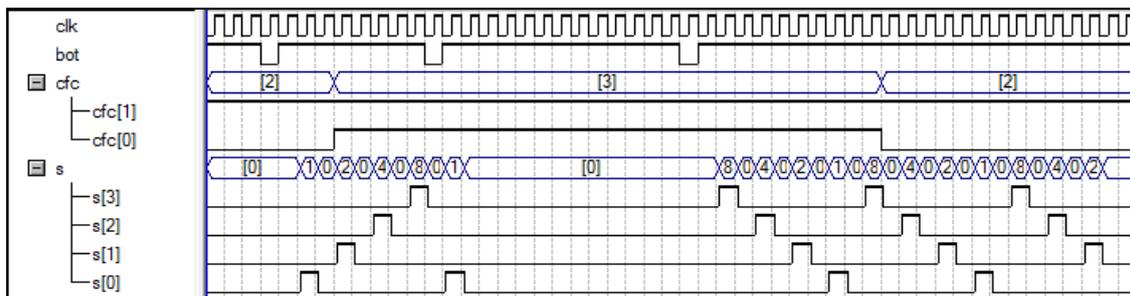


Figura 10 - Portão mudando sentido (abrindo e fechando).

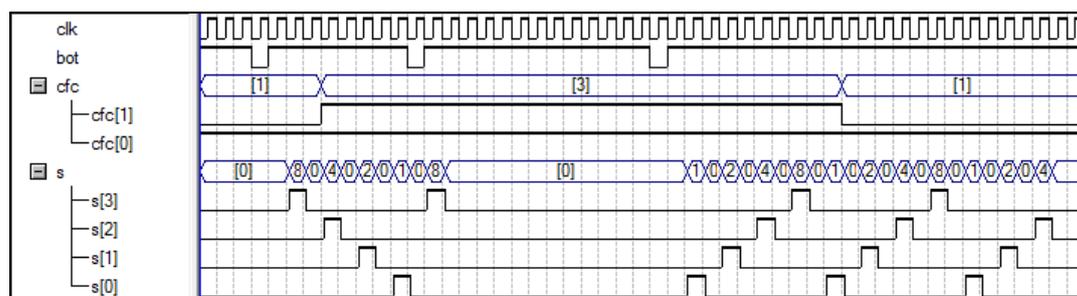


Figura 11 - Portão mudando sentido (fechando e abrindo).

Depois de realizadas as simulações e a indicação (roteamento) da pinagem, entradas /saídas faz-se a programação ou “queima” da placa DE2. As conexões são efetuadas pelas portas paralelas disponíveis (duas) de 40 pinos cada. Ambas as portas são programáveis, tanto para entrada quanto para saída e a localização dos pinos obedece ao desejo do programador, salvo alguns pinos que são reservados e devem ser consultados da sua disponibilidade, no manual do usuário da placa DE2 –Altera (ALTERA CORPORATION, 2006). A montagem completa do trabalho pode ser vista na figura 12, com as chaves fim de curso que realimentam a informação da posição. A placa possui dois clocks internos de 27 e 50 MHz, onde uma divisão em um dos clocks (50 MHz) fornece a frequência adequada (80Hz) ao projeto de



controle do portão. O “bot” ligado a um botão (*pushbutton switch*) da própria placa faz “rodar” o programa.

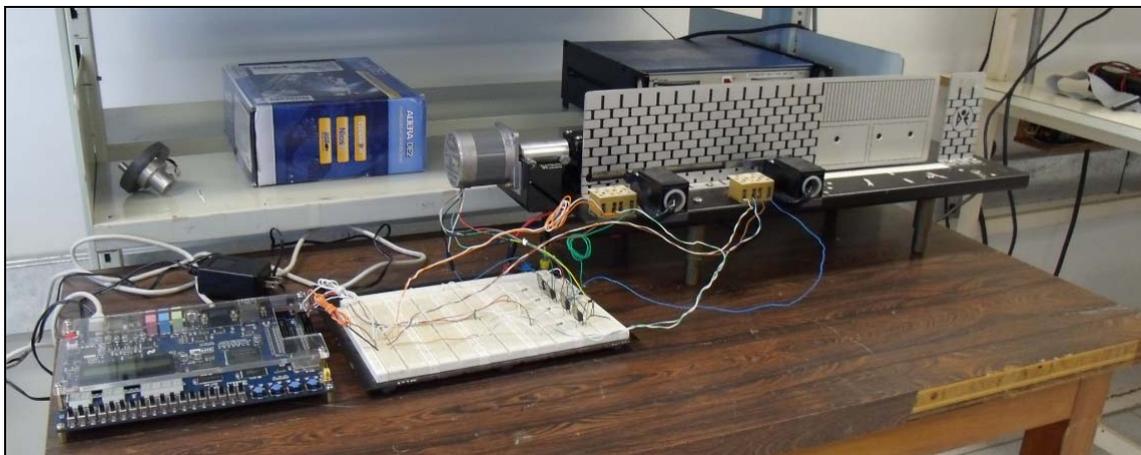


Figura 12 - Visão completa da montagem do trabalho.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho teve grande importância no aprendizado do aluno no curso de engenharia elétrica, pois envolveu vários conceitos estudados durante todo o curso, tais como, acionamento de motores, dispositivos digitais e analógicos discretos, dispositivos lógicos programáveis, programação em linguagem de descrição de hardware, que foram aplicados na resolução de um problema prático.

Com este trabalho o aluno pode adquirir experiências em linguagens de descrição de Hardware e o desenvolvimento de projeto usando dispositivos programáveis que se constituem atualmente em ferramentas de projeto importante, que tem mudado a realização dos trabalhos e das pesquisas na área de eletrônica.

O processo de ensino-aprendizagem do aluno se apresentou intensamente através do estímulo constante de sua inteligência tornando possível a construção de novos conhecimentos e novos saberes.

As poucas dificuldades encontradas pelo aluno na resolução do problema demonstram que o embasamento adquirido no curso com as diversas disciplinas, forneceu os subsídios necessários para o desenvolvimento do projeto.

Com o funcionamento correto do programa e o acionamento do portão implementado, conclui-se que a proposta original do trabalho foi alcançada plenamente. Observa-se também, que problemas simples como este, podem agregar ao conhecimento do aluno, fortes subsídios ao aprendizado prático em um curso de engenharia elétrica.

Finalmente, não são poucos os professores (engenheiros) que buscam formar bons profissionais e têm a preocupação que os alunos aproveitem o período de permanência na faculdade para obter o conhecimento necessário para enfrentar o mercado de trabalho e o seu papel na sociedade. O desenvolvimento de projetos complementares, como o proposto neste artigo, além das aulas tradicionais de laboratórios, pode despertar o interesse dos alunos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTERA CORPORATION. DE2 -Development and Education Board-User Manual, ver.1.4, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.altera.com/up/pub/Webdocs/DE2_UserManual.pdf>. Acesso em: 16 Setembro 2011.

ALTERA CORPORATION. Quartus Web Edition, 91sp2, 2011. Disponível em: <http://www.altera.com/products/software/quartus-ii/subscription-edition/qts-se-index.html>. Acesso em: 12 de Fevereiro de 2012.

MOLHOMEM, R. L.; Bayma, R. S.; Castro, A. M.; Silva, C. D. Experiências pedagógicas no desenvolvimento de uma bancada de levitação magnética. **Anais**: XVIII – Congresso Brasileiro de Automática. Bonito-MS, 2010.

NEWMAN, K. E.; Hamblen J. O.; Hall, Tyson S. An Introductory digital design course using a low-cost autonomous robot .Ieee Transactions on Education, vol. 45, no. 3, August, 2002

THOMAS, E.; MOORBY, P. R. The Verilog® Hardware Description Language. 5ª. ed. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 2002.

WILDI, T. Electrical Machines, Drives, and Power Systems. 5ª. ed. Columbus, Ohio: Prentice Hall, 2002.

TEACHING-LEARNING PROCESS THROUGH A COMPLETION COURSE WORK

Abstract: *In this article it is shown as a work of completion of the course can be an important tool to complement the teaching-learning process of a course in electrical engineering. For this reason it is proposed to design the control and drive of the opening of a sliding gate which is part of the didactic Module manufacturer's Degem Systems (Unit YES 109 – Electrically Operated Gate). This module consists of a sliding gate and two keys at the end of the course, where the sledge of the engine and connected to an axle , that can be controlled by an induction motor, for example, or any other engine that offers a appropriate torque. In this work we chose for the control of sliding gate to use a step motor, the development board of the manufacturer ALTERA-DE2 , the Quartus II software and a hardware description language, Verilog HDL.*

Key-words: *Control, to set in motions, keys at the end of the course, FPGA*