

Experimentos em Controle e Automação (eca): um Laboratório de Servomecanismos para Desenvolvimento de Controle e Automação.

Farlen Souza Grillo
farlensouzagrillo@gmail.com
IFF

Adelson Siqueira Carvalho
adelsonsc@gmail.com
IFF

Leandro Siqueira Glória
leandros gloria@hotmail.com
IFF

Resumo: A proposta deste trabalho é desenvolver experimentos na área de controle e automação, que sejam semelhantes aos sistemas de controle desenvolvidos em ambiente corporativo como forma de potencializar o processo de ensino-aprendizagem nas disciplinas (controle clássico, controle digital, controle avançado, laboratório de controle e automação, dentre outras) por meio da relação entre teoria e prática, desta forma, os alunos do curso de engenharia de controle e automação do IFFluminense campus Campos-Centro podem desenvolver as competências desejadas pelas empresas. Estes experimentos, serão desenvolvidos com o auxílio de dois kits da Feedback (kit pêndulo digital e kit servo analógico e digital), pertencentes ao laboratório de automação inteligente (LAI) do Instituto. Para ilustrar os experimentos são utilizadas algumas aplicações didáticas nestes kits e os resultados são apresentados de forma gráfica.

Palavras Chave: ensino-aprendizagem - kit pêndulo digital - kit servo analógico - \$4 -

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos o homem sempre buscou desenvolver novas técnicas e equipamentos que substituíssem o seu trabalho de forma a aumentar a segurança de seu ambiente profissional, obter maior qualidade e rapidez na produção. Atualmente a teoria de controles automáticos, que está cada vez mais integrada à área da computação, esta sendo usada para tal propósito. Algoritmos e recursos computacionais estão sendo utilizados a fim de realizar os mais diversos tipos de controle.

Os sistemas de controle automático são encontrados em abundância em setores da indústria, tais como controle de qualidade e fabricação de produtos, linha de montagem automática, controle de ferramentas, tecnologia espacial (foguetes) e de armamento, sistemas de transporte, sistemas de potência, robôs e dentre outros.

Segundo Schinaid *et al.* (2003) as recomendações da ABET– *Accreditation Board for Engineering and Technology*, instituição norte-americana que procura estabelecer critérios de qualidade específicos para cada habilitação, os cursos de graduação devem estimular a capacidade para aplicar conhecimento de matemática, ciências e engenharia; projetar e conduzir experimentos; analisar e interpretar resultados; projetar um sistema, componente ou processo para atender a determinados requisitos; atuar em equipes multidisciplinares; identificar, formular e resolver problemas de engenharia; poder compreender a natureza da ética e da responsabilidade profissional; comunicar-se efetivamente (por escrito e oralmente); entender o impacto das soluções da engenharia no contexto social e ambiental; buscar a aprendizagem permanente, e ainda usar técnicas e ferramentas modernas para o exercício da prática da engenharia.

Dentro deste contexto, o projeto procura desenvolver na engenharia de controle e automação, a experimentação, baseada em atividades de laboratório, simulando processos semelhantes ao de ambientes corporativos, tanto com a utilização do kit pêndulo digital quanto com o uso do kit servo analógico digital. Além disso, motivar os estudantes do curso ao aprendizado, proporcionando um melhor entendimento dos conteúdos teóricos de classe, uma vez que, haverá um misto entre a parte experimental (prática) e conceitual (teórica). Conceitos abstratos são elegantes e poderosos, mas o aprendizado é sempre melhorado pela experimentação direta.

Este trabalho esta organizado da seguinte forma: na segunda seção é apresentado o curso de engenharia de controle a automação, suas disciplinas básicas e específicas, as áreas de atuação do engenheiro e as aplicações do mesmo nessas. Na terceira seção são expostos e detalhados os kits pertencentes ao laboratório utilizados no projeto. Na quarta seção a interação dos kits com o software de simulação e na quinta seção alguns experimentos possíveis na área de controle realizados por meio dos equipamentos. Já na seção seis os resultados obtidos, e por fim, na seção sete a conclusão da pesquisa.

2. ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

O curso de engenharia de controle e automação não é tão antigo quanto as engenharias elétrica, mecânica e civil, mas é de fundamental importância para o desenvolvimento de um país, uma vez que, tem influência direta e importância capital em praticamente todos os processos industriais.

Para produzir em grande escala, com uniformidade e com qualidade, são necessárias máquinas que funcionem sob controle automático. Dessa forma, pode-se dizer que qualquer processo, seja ele petroquímico, metalúrgico, de produção de autopeças, de exploração ou tratamento de minérios, de fabricação de cimento, de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, de produção de alimentos ou medicamentos, etc., tem uma fase de desenvolvimento realizada por engenheiros daquela área específica. Após essa fase, quando o

processo vai ser efetivamente implementado e colocado em regime de produção, os engenheiros de controle e automação precisam ter atuação destacada. O desenvolvimento do projeto das plantas, sua partida e operação não podem ser realizados sem profissionais com formação apurada em Engenharia de Controle e Automação.

Assim, verifica-se concretamente um campo de atuação muito vasto e crescente para essa modalidade de engenheiro, tanto nas áreas industriais quanto nas áreas comerciais e de serviços. Além disso, outro setor de atuação encontra-se nas áreas científicas e de desenvolvimento tecnológico, em que, enquadram-se contribuições teóricas em áreas de pesquisa ainda em desenvolvimento e a participação em equipes de ensino e pesquisas aplicadas desde a área de sistemas biológicos (estudo dos sistemas de regulação de temperatura, pressão arterial, frequência cardíaca e outros) até a área de controle de processos industriais (novas estruturas computacionais para controle de fabricação de aço, fabricação de autopeças e outros produtos, controle de tratamento de minérios, de destilação de petróleo, de vôo em aeronaves, de suspensão e de motores de automóveis, etc.).

Portanto, o curso de engenharia de controle e automação tem por objetivo a formação de um profissional apto a atender às crescentes e variáveis demandas impostas pelas mudanças tecnológicas, sociais e econômicas, correlacionando a esses fatores a conscientização com o meio ambiente e a preocupação com a segurança.

3. EQUIPAMENTOS DO LABORATÓRIO

Os equipamentos pertencentes ao laboratório de automação inteligente (LAI) são: o kit pêndulo digital e o kit servo analógico e digital, ambos são módulos didáticos da Feedback. Estes são uma combinação de componentes eletromecânicos, circuitos eletrônicos e softwares utilizados para testes dos fundamentos de controle.

3.1. PÊNDULO DIGITAL

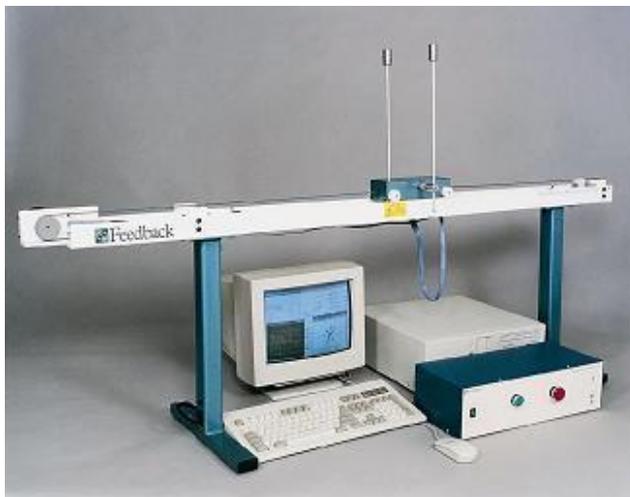


Figura 1: Pêndulo digital (figura extraída de www.fbk.com).

O kit pêndulo digital da Feedback é composto por duas unidades: uma unidade mecânica (Digital Pendulum Mechanical Unit 33-200), e uma unidade de controle digital (Digital Pendulum Controller 33-201), conforme mostrado na figura 1.

A estrutura mecânica (figura 2) do pêndulo digital é formada por um codificador de ângulo, um codificador de posição, um trilho, dois interruptores limitadores (um em cada extremidade do trilho), por uma correia, um motor, um carro, e o pêndulo.

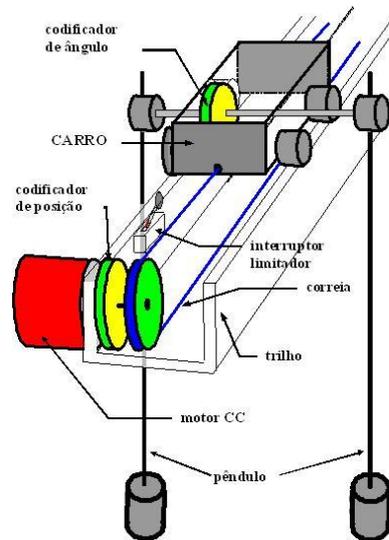


Figura 2: Estrutura mecânica do pêndulo (manual Feedback 33-935/936-1V61).

O atuador usado é um motor DC, ou seja, motor de corrente contínua, pois este pode funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites, e ainda, ser controlado com alta flexibilidade e precisão. Por possuir tais características, ele é muito utilizado em sistemas servomecânicos.

Apesar de poder variar a tensão em valores arbitrários, é conveniente que a tensão máxima aplicada ao motor CC seja de 2,5V, tanto para valores positivos quanto negativos, a fim de evitar danos ao equipamento.

O sensor responsável por fazer a medição da posição do carro e da posição angular do pêndulo é o encoder. Este é um transdutor de movimento capaz de converter movimentos lineares ou angulares em informações elétricas, que podem ser transformadas em informações binárias, através de um conversor A/D, com o objetivo de serem enviadas a um computador, e neste serem trabalhadas por um programa que converta as informações passadas em algo que possa ser entendido como distância, velocidade, dentre outras.

O conversor A/D do kit pêndulo é de 11 bits, e possui um período de amostragem de 1ms. O encoder do pêndulo realiza a leitura da posição angular em radianos e o encoder da posição do carro faz a leitura em metros (Castro, 2008).

Após cada experimento ou mudança de potência o carro deve ser movido para o centro do trilho antes de iniciar o próximo experimento, permitindo que o valor zero da posição seja ajustado (Feedback – O sistema de pêndulo digital Feedback 33-935/936-1V61).

O algoritmo de controle do pêndulo digital é implementado e calculado por um computador. A informação de controle definida neste algoritmo é processada, e enviada pelo computador por intermédio de um conversor D/A da placa de aquisição de dados Advantech PC11711 para promover o acionamento do motor do kit.

A medição da posição do carro e da posição angular do pêndulo é feita pelos seus respectivos sensores (encoders), os quais enviam informações para o atuador, e em seguida para o computador por meio de um conversor A/D, em que é executada uma comparação da ação ordenada pelo algoritmo de controle com a saída obtida. A figura 3 demonstra esse processo de controle.

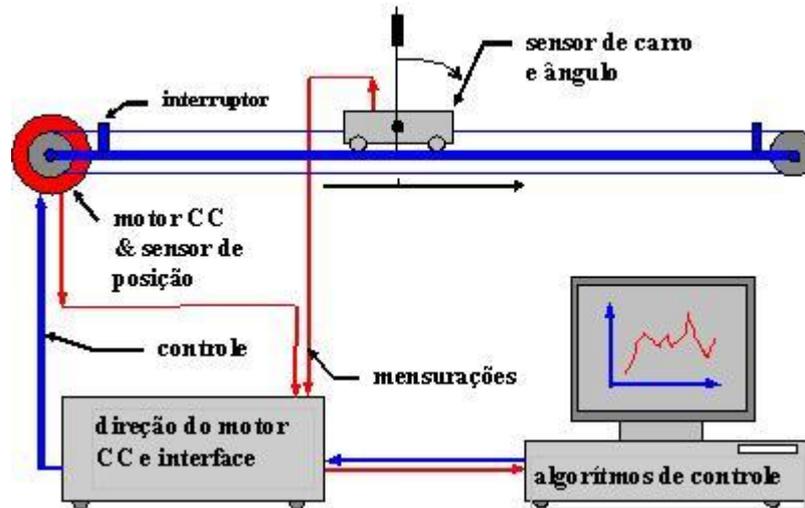


Figura 3: Visão geral do sistema de controle do kit pêndulo digital (manual Feedback 33-935/936-1V61).

3.1. SERVO ANALÓGICO E DIGITAL



Figura 4: Kit servo analógico e digital.

O kit didático da Feedback servo analógico e digital é formado por três unidades: uma unidade mecânica (Mechanical Unit 33-100), uma unidade analógica (Analogue Unit 33-110), e uma unidade digital (Digital Unit 33-120). Existe ainda uma fonte de alimentação (+15 e -15 a 1,5A e +5 e -5 a 0,5A) que fornece energia a unidade mecânica. A figura 4 acima ilustra o kit.

A UM 33-100 (figura 5) consiste em um conjunto em formato de placa aberta que contém os componentes eletromecânicos do servo, e sua eletrônica de suporte.



Figura 5: Unidade mecânica.

A parte eletromecânica é composta de:

- Um motor (atuador) de corrente contínua (CC) – converte energia elétrica em energia mecânica rotativa;
- Um tacogerador analógico (sensor) – transforma energia mecânica de acionamento do mesmo em energia elétrica na forma de tensão contínua induzida em seus terminais. Esta tensão gerada é proporcional a velocidade angular a qual o tacogerador é submetido;
- Potenciômetros de entrada e saída analógicos;
- Codificadores digitais (encoders) absolutos e incrementais de posição e velocidade;
- Freio magnético – para inserir perturbação.
- Disco rotativo – acoplado ao eixo do motor.

A parte eletrônica compreende:

- O amplificador de potência;
- Um gerador de baixa frequência de ondas (senoidal, quadrada e triangular) para testes;
- Circuitos de leitura do codificador;
- Display de LCD de indicação de velocidade.

A UA 33-110 (figura 6) possui circuitos eletrônicos que permitem uma grande faixa de aplicações em servo controle, como a possibilidade de implementação de um PID analógico para controle de velocidade ou de posição do motor da 33-100.



Figura 6: Unidade analógica.

Esta é formada por:

- Amplificador de erro com possibilidade de derivação – usado para combinar sinais dos potenciômetros para gerar o erro;
- Três geradores de sinais (degrau comandado, triangular e pulsos) com amplitude ajustável;
- Comutadores de falhas – permite que as falhas sejam introduzidas;
- Potenciômetros P1 e P2 – oferece controle de ganho do sistema e ajuste de sinal do tacogerador;
- Potenciômetro P3 – pode ser conectado em qualquer entrada para fornecer uma entrada ajustável para o amplificador de erro;
- Controlador – contém um amplificador operacional com redes associadas para permitir a introdução de vários circuitos compensadores e de controle (proporcional, integral e derivativo) independentes, melhorando o desempenho de um sistema básico;
- Ganhos de realimentação.

A UD 33-120 (figura 7) consiste em uma placa aberta com circuitos digitais que oferece uma interface digital entre a unidade mecânica e o computador.



Figura 7: Unidade digital.

Ela contém:

- Circuitos dos conversores analógico-digital (A/D ou ADC) e digital-analógico (D/A ou DAC) para conversão dos sinais do sistema. O conversor A/D (resolução de 8 bits e frequência de 100 Hz) é um dispositivo eletrônico capaz de gerar uma representação digital de uma grandeza analógica. Já o conversor D/A (resolução de 8 bits e frequência de 100 Hz) é um dispositivo eletrônico capaz de converter uma grandeza digital em uma representação analógica.
- Um banco de chaves (comutadores) para introduzir falhas;
- Duas chaves digitais comandadas via computador;
- Um canal PWM para escrita.

4. INTEGRAÇÃO DOS KITS COM O SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

O kit digital pêndulo e o kit servo analógico digital utilizam o software Matlab® e a ferramenta Simulink para a aquisição dos dados, tratamento dos dados e elaboração do sistema de controle. Aquele software é um ambiente de computação técnica de visualização e processamento numérico de alto desempenho. Ele integra análise numérica, cálculo matricial, processamento de sinais, vários aplicativos e gráficos num ambiente, onde problemas e soluções são expressos como eles são representados matematicamente.

Já o Simulink é um toolbox utilizado para a modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos. Por possuir um ambiente gráfico que trabalha com o conceito de diagrama de blocos e fluxos de sinal para o projeto e simulação de sistemas de controle, é muito usado em engenharia de controle.

É importante ressaltar que antes dos dados serem adquiridos pelo Matlab®, os dois kits possuem placas de aquisição de dados específicas instaladas no computador para a aquisição de dados do modelo real.

Além do Simulink, existem outros ambientes que auxiliam no algoritmo de controle feito pelo computador, dentre eles o Realtime Workshop e o Realtime Windows Target.

O Realtime Workshop gera um código C para o diagrama de blocos desenvolvido no Simulink.

Já o compilador C compila e comunica o código gerado pelo Realtime Workshop para produzir um programa executável. O programa comunica-se com a planta por meio do Realtime Windows Target. Este se comunica com o programa executável atuando no algoritmo de controle e comunica-se com a planta (modelo real) através da placa de aquisição de dados. Quando o programa está rodando o usuário pode modificar os parâmetros no diagrama de blocos desenvolvido no Simulink, através do Realtime Workshop, dessa maneira alterando também o programa executável, como mostra a figura 8. Quando ocorrer uma mudança na estrutura (modelo) do diagrama de blocos, ou seja, acrescentando ou deletando um bloco, o programa precisa ser recompilado.

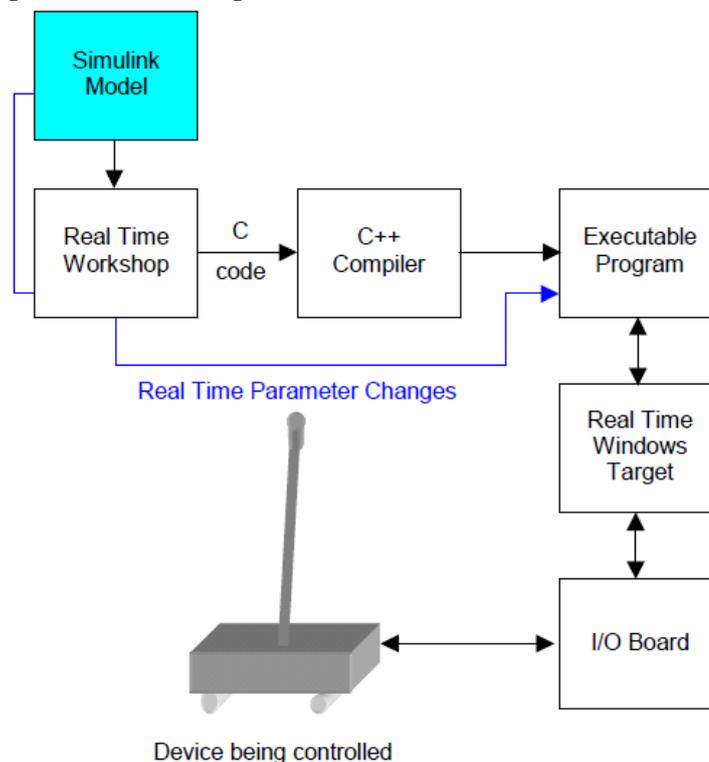


Figura 8: Etapas do algoritmo de controle no Matlab (manual Feedback 33-000V61).

5. EXPERIMENTOS POSSÍVEIS COM OS KITS

Apesar do kit didático pêndulo digital e kit didático servo analógico e digital poderem demonstrar alguns problemas complexos não triviais da área de controle, nesta seção serão apresentados somente dois experimentos, um para cada kit.

5.1. PROBLEMA DO GUINDASTE (KIT PÊNDULO)

No pêndulo foi utilizado um experimento (modelo) fornecido pelo próprio fabricante do equipamento. Esse tem similaridade com o problema de controle de guindastes superiores usados nos portos e em locais de construção para mover carga e suprimentos. A figura 9 ilustra o mesmo construído no Simulink para tal controle.

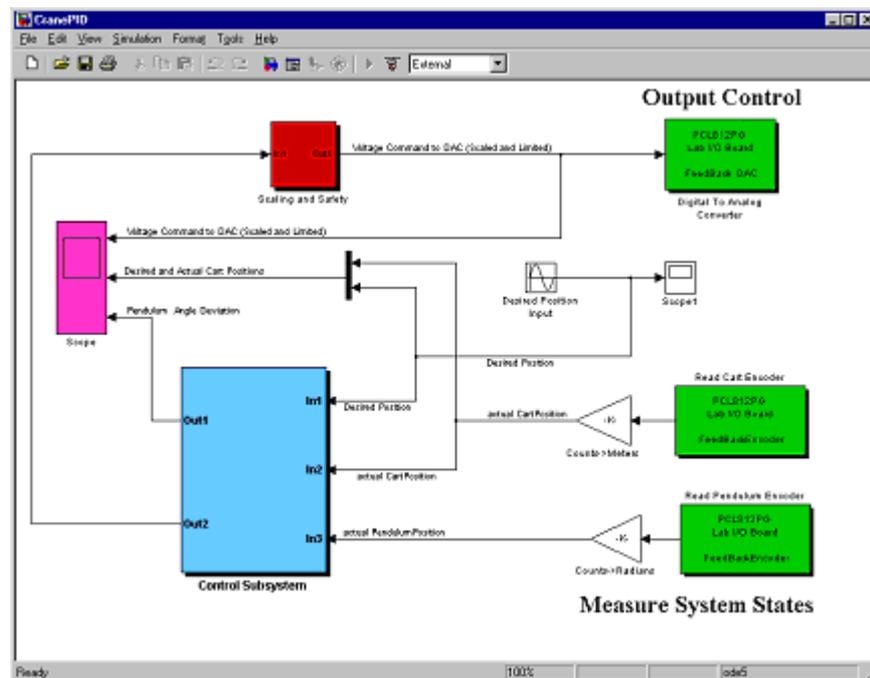


Figura 9: Diagrama de blocos para experimento de controle de guindastes.

Os blocos verdes representam as entradas (posição do carro e do pêndulo) e a saída (motor CC) do sistema, o bloco vermelho denota o subsistema de segurança (saturação), o bloco azul é o subsistema de controle e o bloco rosa gera os gráficos do modelo. Na posição inicial o pêndulo está pendurado (equilíbrio) para baixo. O balanço é induzido no mesmo à medida que o carro se movimentava para frente e para trás por meio do motor. Na maioria das vezes, o objetivo deste controle é mover o carro entre duas posições desejadas, tão rápido quanto possível, com o mínimo de oscilação, evitando assim, que o ângulo e a velocidade do balanço do pêndulo se tornem muito grandes ou que a duração do balanço seja muito prolongada.

O controle do sistema é feito com a utilização do controlador PID, muito usado na área de controle e automação industrial. O mesmo na sua representação mais básica tem a forma de:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt}(e(t))$$

Onde $u(t)$ é a saída do sistema de controle e o erro $e(t)$, é definido como $e(t) = \text{valor desejado} - \text{valor medido da variável sendo controlada}$.

Os ganhos de controle k_p , k_i , k_d determinam respectivamente, o peso de contribuição do erro, a integral do erro e a derivativa do erro para a saída de controle, determinando assim, a resposta do sistema de malha fechada para as condições de entrada iniciais. No sistema de guindaste em consideração as variáveis controladas pelo PID são a posição do carro e o ângulo do pêndulo. Para realizar tal controle são usados dois PID's (PID duplo), um controlando o ângulo do pêndulo e o outro controlando a posição do carro. As saídas dos dois controladores são adicionadas para produzir o valor de controle final para o conversor D/A, tendo como resultado o torque do motor CC. O modelo construído no Simulink de controle PID duplo proposto para o sistema pêndulo-carro é mostrado na figura 10.

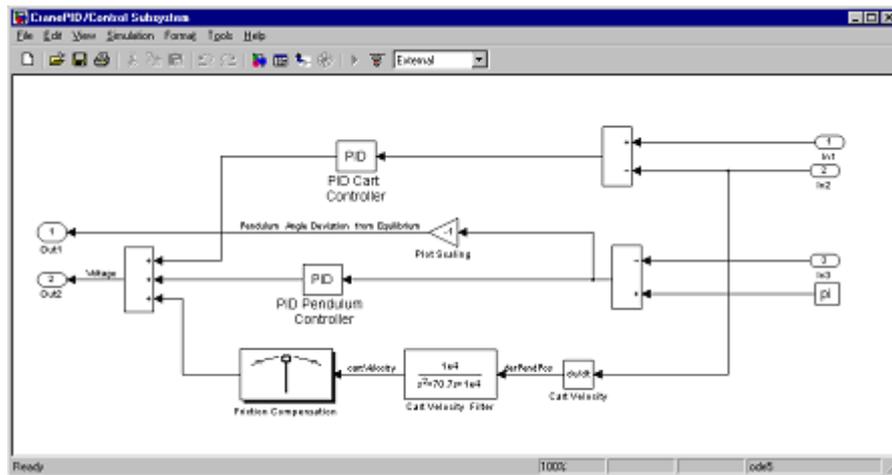


Figura 10: Diagrama de bloco do controlador PID duplo do guindaste.

Tanto o controlador PID da posição do carro, quanto o controlador PID do ângulo do pêndulo possuem a mesma estrutura (figura 11). A mesma possui o ganho proporcional, o ganho integrador e o ganho derivativo. Alternando os parâmetros deles a saída do sistema de controle responderá de outra maneira.

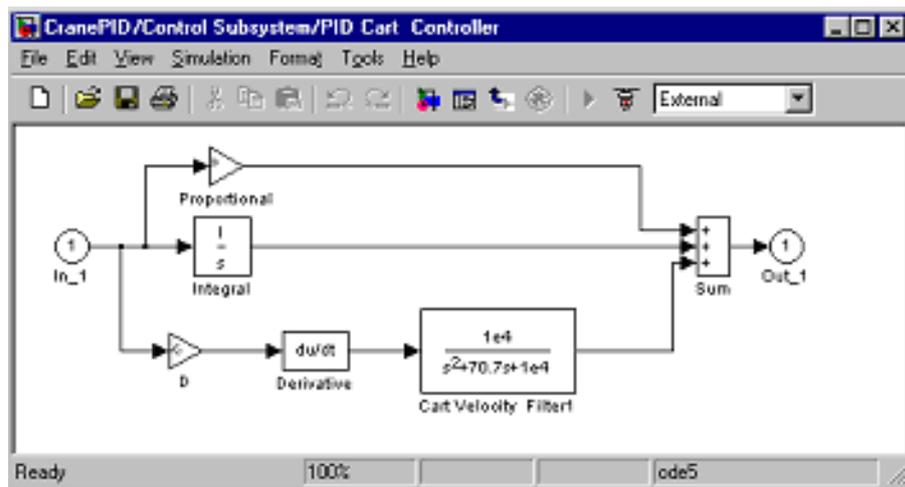


Figura 11: Representação do controlador PID.

O resultado obtido por esse experimento pode ser visualizado nos gráficos da figura 12, a qual mostra a voltagem enviada pelo conversor D/A ao motor com a finalidade de controlar o seu torque, a posição atual e a desejada do carro e o desvio angular do pêndulo, respectivamente.

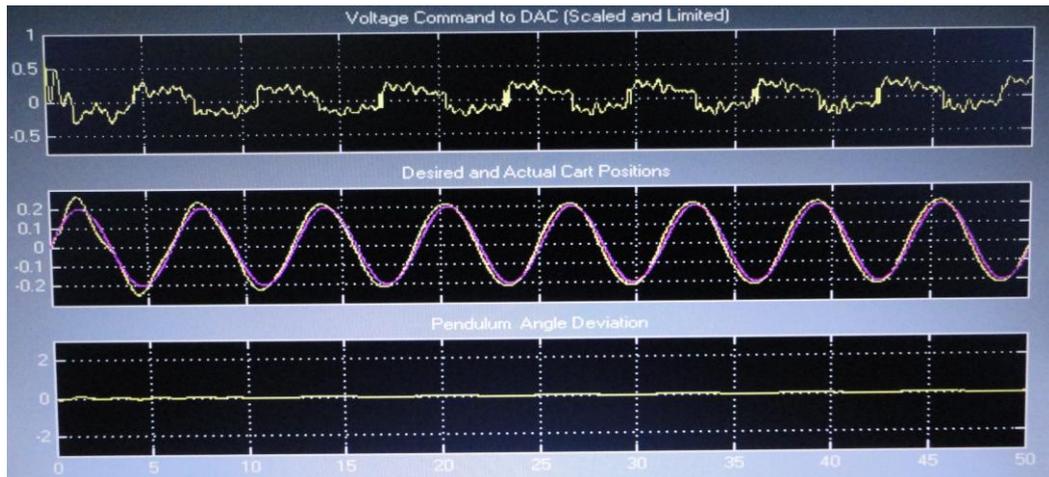


Figura 12: Gráfico do comando de tensão enviado pelo conversor D/A, da posição atual e a desejada do carro e o desvio angular do pêndulo, respectivamente.

Nele, é importante observar a linearidade da posição do carro, e do desvio angular do pêndulo, caracterizando um bom controle do PID duplo (controladores).

5.2. CONTROLE DE VELOCIDADE DE UM MOTOR DC (SERVO ANALÓGICO E DIGITAL)

No kit servo analógico e digital foi desenvolvido um controlador fuzzy por alunos do oitavo período do curso de engenharia de controle e automação com o intuito de controlar a velocidade (RPM) do motor de CC. O sistema de controle de velocidade é composto pelo motor (atuador), pela planta que é o disco rotativo diretamente acoplado ao eixo do motor DC, pelo sensor que é o tacogerador, também diretamente acoplado ao eixo do atuador, pela unidade digital e pelo computador que é a onde o controlador será desenvolvido com a utilização do software Matlab®, usando o ambiente FIS.

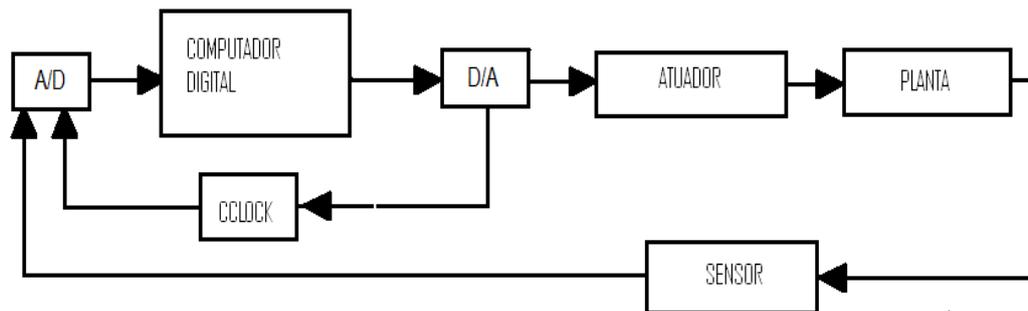


Figura 13: Esquema do sistema de controle de velocidade.

Acompanhando a figura 13 e considerando-se o estado inicial de repouso da planta, ao ser ligado o sistema, o motor começará a produzir um torque e conseqüentemente o disco irá adquirir uma velocidade angular $w(t)$. A velocidade será medida pelo sensor, que produzirá uma tensão induzida diretamente proporcional à velocidade do disco. Esse sinal analógico do sensor é então convertido para um sinal digital de 8 bits, através do conversor A/D, e enviado ao PC que possui o controle digital configurado. O sinal digital de saída será então convertido para um sinal analógico, através do conversor D/A, e aplicado ao atuador (motor CC) para regular a velocidade do disco. Essa malha possui realimentação negativa (malha fechada).

A figura 14 abaixo ilustra a ligação dos fios elétricos nos bornes de conexão dos conversores A/D e D/A, no tacogerador e no potenciômetro na unidade digital para a realização do experimento de controle de velocidade.

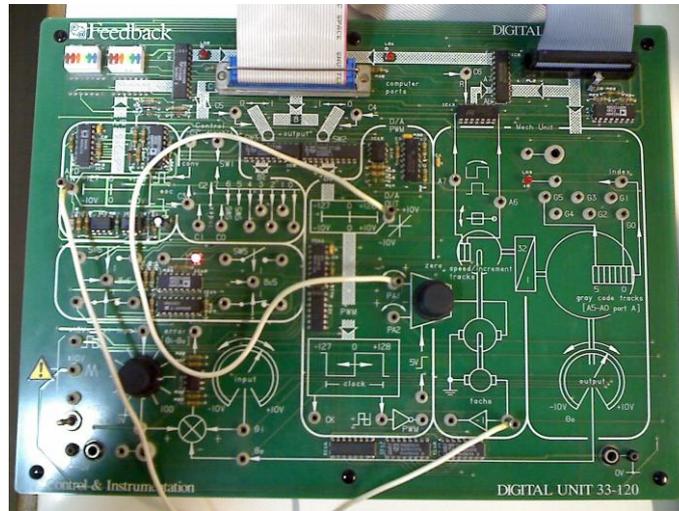


Figura 14: Esquema de ligação dos fios elétricos nos bornes de conexão da unidade digital.

Antes de elaborar o controlador foi feito um teste para detectar ruído no sensor, onde foi aplicado um valor de tensão zero na planta, para constatar ou não a presença do mesmo, por meio da visualização no bloco scope (figura 15).



Figura 15: Experimento para detecção do ruído do sensor.

A partir do experimento anterior, foi encontrado um erro de offset médio de -0.60131 , este foi adicionado ao diagrama de blocos do controlador.

Na elaboração do controlador fuzzy foi considerada a referência em velocidade, já que esta seria a variável controlada. Porém o sensor retorna os valores em tensão, logo foi necessário converter esse sinal para a grandeza de velocidade. Segundo Félix (2007) o ganho do sensor corresponde a $2,5 \text{ V}/1000 \text{ rotações por minuto (RPM)}$, portanto foi utilizado um fator multiplicativo para a conversão.

A entrada do controlador foi o erro, e as variáveis linguísticas definidas foram: muito negativo, médio negativo, pouco negativo, zero, pouco positivo, médio positivo, muito positivo. A saída com um range de -8 a 8 V foi definida como: negativo grande, negativo médio, negativo pequeno, zero, positivo pequeno, positivo médio, positivo grande.

Depois de configurado o controlador foi construído então o modelo no Simulink, conforme a figura 16.

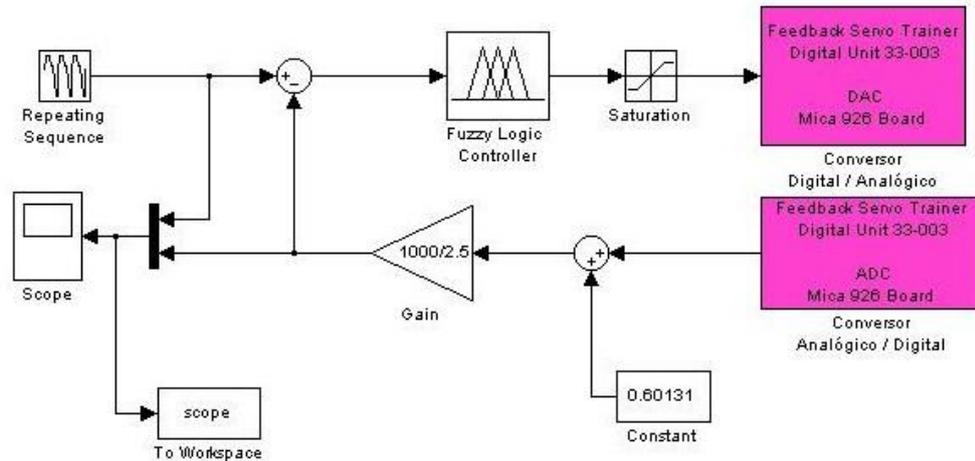


Figura 16: Experimento utilizando o controlador fuzzy no sistema real.

O resultado obtido a partir dos experimentos pode ser observado na figura 17, esta mostra uma entrada configurada através do bloco repeating sequence, em que o mesmo define uma seqüência (setpoint) a ser controlada pelo controlador fuzzy.

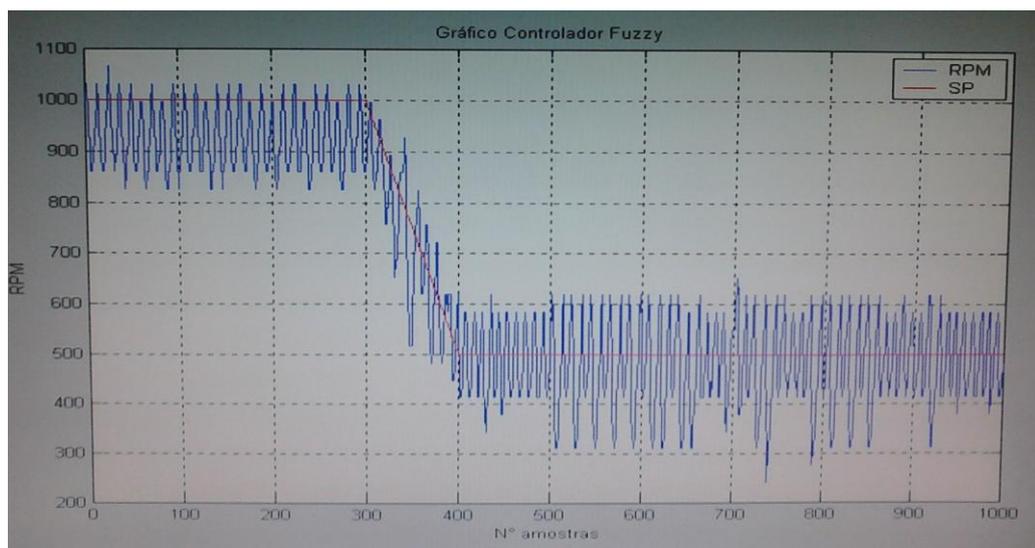


Figura 17: Gráfico de resposta do sistema de controle a entradas variadas.

Analisando o gráfico pode se notar que o controlador apresentou um bom desempenho, pois conseguiu regular a velocidade (RPM) para valores diferentes de setpoint, apesar de possuir picos de alta amplitude.

6. RESULTADOS

Como a idéia principal do projeto é realizar experimentos de controle que tenham semelhanças com os de ambiente corporativo para proporcionar um melhor aprendizado por parte dos alunos do curso de engenharia de controle e automação do Instituto Federal Fluminense, uma vez que, haverá um misto de conteúdo conceitual (teoria) com atividades (prática) de laboratório, foi elaborado um questionário contendo dez afirmações para saber a percepção de cada aluno da disciplina de controle avançado a respeito da utilização da plataforma tecnológica (kit pêndulo digital e kit servo analógico e digital). Os níveis de

percepção variam desde discordo fortemente até concordo fortemente, tendo ainda a opção neutra. O quantitativo de graduandos que participaram da pesquisa é no total de vinte. As opiniões dos mesmos para cada afirmação foram expressas em forma de gráficos (pizza), conforme ilustrado nas figuras 18 a 27 abaixo.

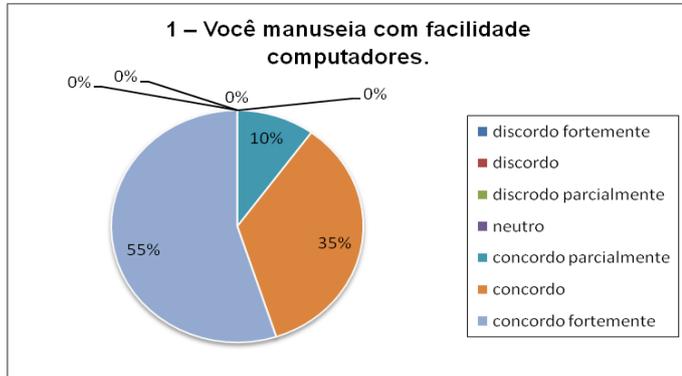


Figura 18: Gráfico referente à 1ª afirmação.

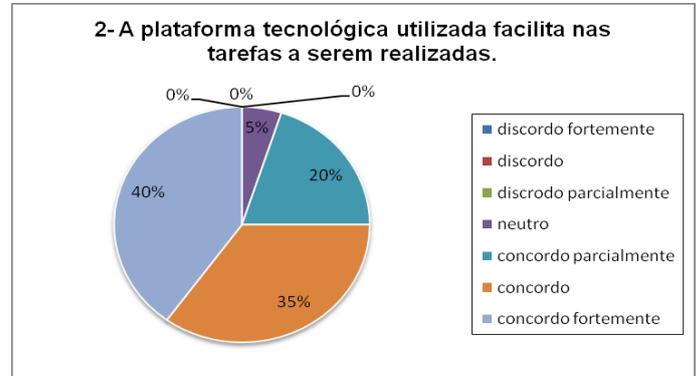


Figura 19: Gráfico referente à 2ª afirmação.

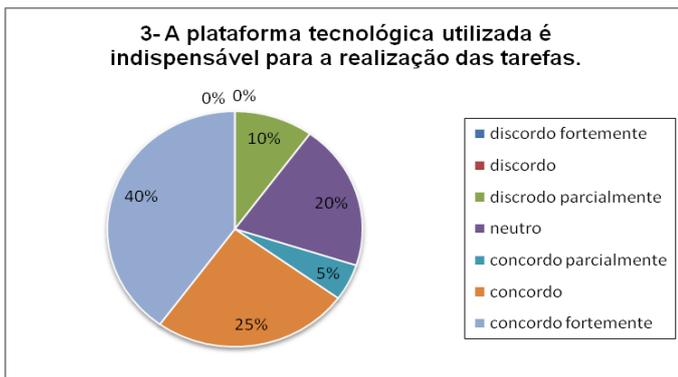


Figura 20: Gráfico referente à 3ª afirmação.

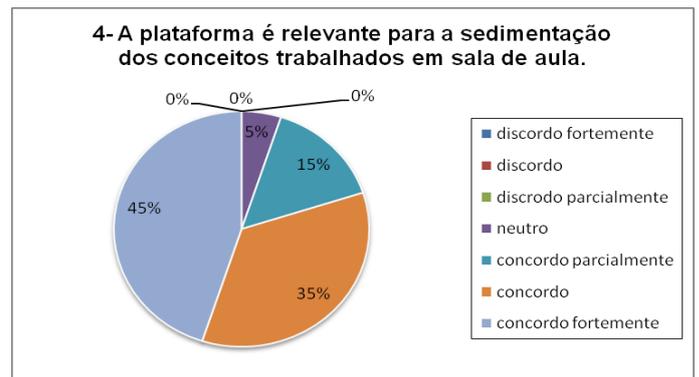


Figura 21: Gráfico referente à 4ª afirmação.

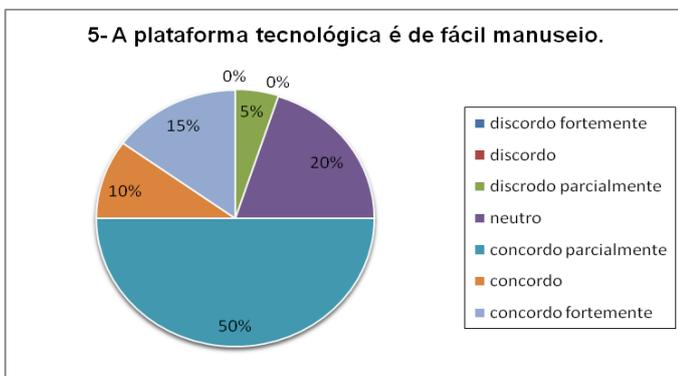


Figura 22: Gráfico referente à 5ª afirmação.

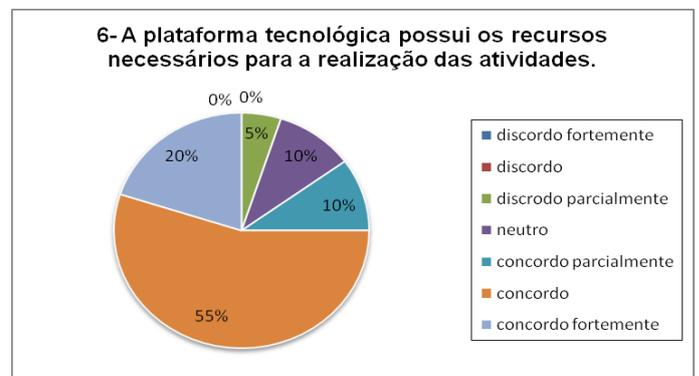


Figura 23: Gráfico referente à 6ª afirmação.

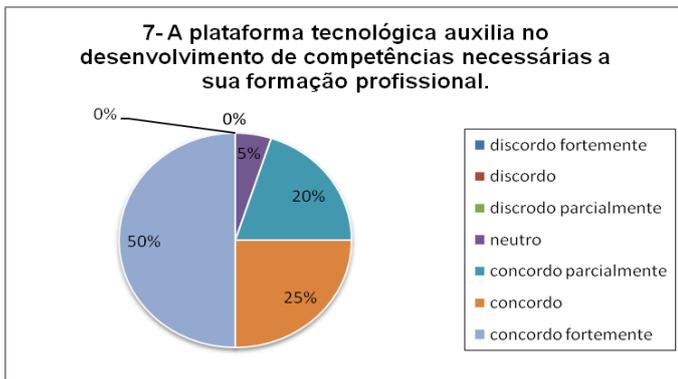


Figura 24: Gráfico referente à 7ª afirmação.

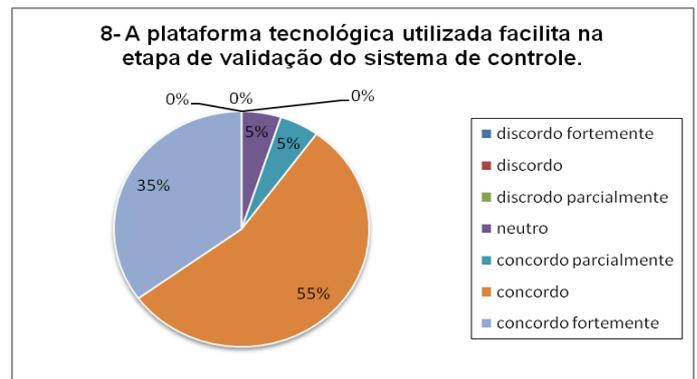


Figura 25: Gráfico referente à 8ª afirmação.

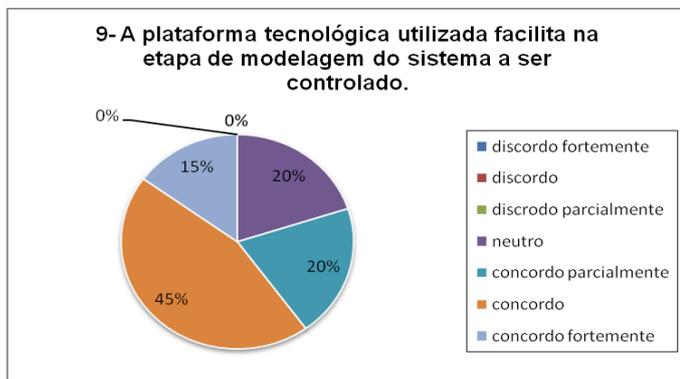


Figura 26: Gráfico referente à 9ª afirmação.

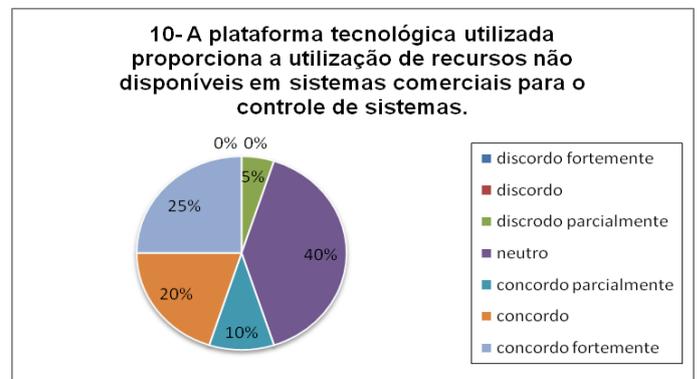


Figura 27: Gráfico referente à 10ª afirmação.

De acordo com a análise geral dos gráficos percebe-se que houve uma aceitação do uso dos kits didáticos pelos alunos na maioria das afirmações, ou seja, a idéia do presente trabalho de realizar possíveis experimentos no laboratório de automação inteligente (LAI), unindo a teoria a prática, obteve um resultado satisfatório do ponto de vista dos alunos.

7. CONCLUSÕES

A partir dos resultados espera-se que o processo de ensino-aprendizagem tenda para uma potencialização dos aspectos tratados nas disciplinas de controle (clássico, digital e avançado, dentre outras) do curso de engenharia de controle e automação, pois o conteúdo visto em sala de aula (teoria) será aplicado em laboratório (experimentos).

No que diz respeito à prática profissional para o engenheiro de controle e automação os desdobramentos deste projeto impactam diretamente no desenvolvimento de competências, sobretudo na resolução de problemas cuja capacidade de abstração seja mais elevada, e a partir da experiência durante sua formação para a concepção, projeto, implementação e operação de sistemas de controle automático.

8. REFERÊNCIAS

CASTRO, L. C. Projeto de controlador digital: Problema do guindaste utilizando o kit da FEEDBACK 33-200/33-201, 2008. Monografia (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial) – Instituto Federal Fluminense Campus Centro. Campos dos Goytacazes, RJ.

FEEDBACK, Instruments Ltd. Digital Pendulum Fundamentals Trainer – 33-935/936-1V61.

FEEDBACK, Instruments Ltd. Analogue Servo Fundamentals Trainer – 33-002. Ed.03.

FEEDBACK, Instruments Ltd. Digital Servo Fundamentals Trainer – 33-003 (SFT154). Ed.02.

FÉLIX, A. N; Projeto de um controlador digital de velocidade para m disco rotativo diretamente acoplado ao eixo de um motor de corrente contínua (Unidades Feedback:33-100 e 33-120). Campos dos Goytacazes – 2007.

HTTP: www.fbk.com

SCHNAID, F., TIMM, M. I., ZARO, M. A. Considerações sobre uso de modelo construtivista no ensino de Engenharia - disciplina de projeto, com graduandos e mestrands. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre: UFRGS, v. 1, n. 1, 2003.