



- **AFINOMÁTICO: SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE AFINAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE CORDA POR FREQUÊNCIA**

Vinícius Ghizoni da Silva – ghizoni28@gmail.com

Instituto Federal De Santa Catarina, Departamento de Metal Mecânica
Av. Mauro Ramos, nº 950 Bairro: Centro
88020-300 – Florianópolis – Santa Catarina

Guilherme Weizenmann – santanaweizenmann@hotmail.com

Instituto Federal De Santa Catarina, Departamento de Metal Mecânica
Av. Mauro Ramos, nº 950 Bairro: Centro
88020-300 – Florianópolis – Santa Catarina

Ramon Adair Petkov – ramonpetkov@gmail.com

Instituto Federal De Santa Catarina, Departamento de Metal Mecânica
Av. Mauro Ramos, nº 950 Bairro: Centro
88020-300 – Florianópolis – Santa Catarina

Gustavo Longo – guto06@msn.com

Instituto Federal De Santa Catarina, Departamento de Metal Mecânica
Av. Mauro Ramos, nº 950 Bairro: Centro
88020-300 – Florianópolis – Santa Catarina

Dra. Cynthia Beatriz Scheffer Dutra – cynthia@ifsc.edu.br

Dr. Roberto Alexandre Dias (Orientador) – roberto@ifsc.edu.br

Dr. Valdir Noll (Orientador) – vnoll@ifsc.edu.br

Instituto Federal De Santa Catarina, Departamento de Metal Mecânica
Av. Mauro Ramos, nº 950 Bairro: Centro
88020-300 – Florianópolis – Santa Catarina

***Resumo:** Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema mecatrônico cujo objetivo, além de afinar instrumentos musicais, é oferecer uma aplicação prática, com elementos industriais, do Controle de Processos para ensino. A metodologia de projetos utilizada garantiu um desenvolvimento bem estruturado e seguro. Utilizando-se uma guitarra elétrica, um controlador lógico programável (executando o controle proporcional integral derivativo, PID), placas eletrônicas periféricas e programas de supervisão, construiu-se um aparato o qual possibilita a aplicação do Controle de Processos. Constatou-se que há grande eficiência de relacionar assuntos com certa complexidade com assuntos de interesse da grande maioria e a construção de aparatos didáticos desse tipo trazem grande benefício no ensino de diversas disciplinas nos cursos de Engenharia.*

***Palavras-chave:** Aplicação Prática, Sistema Mecatrônico, PID, Controle de Processos.*

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



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



1. INTRODUÇÃO

A busca de instrumentos de ensino e aprendizagem mais lúdicos e empolgantes no ensino de algumas áreas da Engenharia é uma busca constante dos educadores atualmente, frente à revolução tecnológica a disposição dos estudantes. Se as ferramentas que permitem uma elaboração quase que automática de gráficos, usados para ilustrar o comportamento de determinados sistemas, já causaram uma grande revolução no aprendizado, alavancando a compreensão de muitos, hoje, pode-se dizer que elas não são suficientes para alcançar a grande maioria dos estudantes.

A ideia principal do presente projeto foi desenvolver um produto que demonstrasse o funcionamento de um sistema de controle bastante utilizado na indústria, com uma roupagem que desperta curiosidade em grande parte da população, aplicando o controle de processos em malha fechada do tipo PID, Proporcional Integral Derivativo, em um instrumento musical de cordas, no caso uma guitarra elétrica, utilizando equipamentos e competências presentes nos cursos de Engenharia. O projeto foi idealizado de maneira que o estudante tenha contato com elementos presentes na indústria, suprimindo uma espécie de carência do ensino extremamente teórico e pouco prático.

A grande valia do presente projeto é evidenciada pelo seu potencial instrutivo, não apenas decorrente do seu funcionamento, como também do projeto do sistema mecatrônico, em diversos aspectos como: dificuldades encontradas, soluções eficientes e dinâmicas, possibilidade de melhorias, metodologia de projeto aplicada e testes do protótipo.

Optou-se pela organização do artigo de forma que mantivesse a ideia de continuidade e evolução do trabalho, evidenciando-se assim a eficiência da metodologia aplicada. Portanto, o artigo encontra-se organizado em cinco partes onde: a seção 2 traz uma análise do mercado, restrições de projeto e contextualizações para o desenvolvimento do produto, a seção 3 refere-se à concepção do produto, a seção 4 traz os resultados dos testes realizados no protótipo desenvolvido e a seção 5 conclui o artigo, apresentando recomendações para futuros trabalhos e as referências bibliográficas.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Existem diversos equipamentos didáticos para ensino de controle, tanto no mercado quanto em desenvolvimentos acadêmicos como: bancadas para aplicação de Controle de Processos da empresa alemã Festo; dois projetos desenvolvidos para as disciplinas de Projeto Integrador do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, o 'Kit Didático Para Controle De Nível De Líquidos' e o 'Desenvolvimento De Um Sistema De Controle Aplicado A Uma Estufa De Desidratação De Frutas'. Ao fazer-se uma análise dos produtos, apesar da alta qualidade, nota-se uma falta de apelo para os alunos. Ao notar-se o interesse dos integrantes da equipe e dos colegas e amigos em Música, optou-se por buscar uma maneira de correlacioná-la com o ensino de controle, projetar um equipamento e desenvolver um protótipo.

Para o desenvolvimento do sistema mecatrônico (para falar do sistema em sua plenitude, será utilizado, doravante, a palavra mecatrônico com o intuito de ressaltar a presença de partes mecânicas, eletrônicas e programáveis integradas formando o sistema), foi realizado um estudo dos equipamentos disponíveis no mercado, e, ao constatar que não havia equipamento similar, procurou-se produtos que, isoladamente, comprovassem a viabilidade da ideia.



Comercialmente, há alguns modelos de guitarra elétrica que realizam um tipo de afinação automaticamente, ou seja, variam a tensão de suas cordas para atingir frequências específicas de vibração, como a Gibson *Robot*. Com a comprovação que um sistema mecatrônico pode realizar a afinação, procurou-se compreender o funcionamento dos equipamentos a serem utilizados.

Como restrição de projeto (e desafio), optou-se pelo uso de um Controlador Lógico Programável, CLP, para a realização do controle do processo. O CLP é uma espécie de computador especializado, bastante utilizado na indústria para desempenhar controles de vários tipos. Quando proposto para uso no projeto, sabia-se que o CLP disponível para uso no Instituto Federal de Santa Catarina tem melhor desempenho para tarefas de longa duração e de velocidade baixa, sendo o oposto da situação presente no projeto.

A vibração da corda a ser afinada, presente numa guitarra elétrica, é convertida em um sinal elétrico pelo captador eletromagnético, também presente na guitarra. O captador eletromagnético é um transdutor composto de um ímã envolto por uma bobina de cobre que gera uma pequena tensão elétrica decorrente das alterações no seu campo magnético proporcionadas pela vibração da corda. No mercado, encontram-se dispositivos que informam a frequência de vibração das cordas tanto com um microfone quanto com um cabo levando o sinal da guitarra elétrica ao dispositivo, conhecido como afinador.

Outro ponto crucial para a compreensão do projeto é o conceito do supervisório: o supervisório é um Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, com a abreviação derivada do nome em inglês sendo SCADA, ou seja, sistemas que utilizam *softwares* para supervisionar variáveis e o sistema em si. Com grande aplicação na indústria, o supervisório foi agregado ao projeto como restrição de projeto e desafio.

Como Tenório, Silva e Gualberto (2009) elucidaram, o profissional da automação, para atuar nas suas diversas áreas, precisa estar apto para implantar e implementar as estratégias adequadas para cada caso. Assim, nota-se que é necessário um treinamento maior do que a teoria em sua exclusividade. Os desenvolvimentos de (Margotti *et al.*, 2011), com o kit didático para controle de nível de líquidos, e de (Asmus *et al.*, 2011), com o sistema de controle aplicado a uma estufa de desidratação de frutas, possibilita ao futuro profissional a aplicação das teorias, a visualização física dos resultados. Ao relacionar um assunto de interesse popular como a música com o Controle de Processos, bons resultados eram esperados.

O Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Instituto Federal de Santa Catarina tem, em cada um de seus sete semestres componentes, a disciplina ‘Projeto Integrador’, que correlaciona conhecimentos e habilidades adquiridos ao longo do módulo (e do resto do curso) no desenvolvimento de um projeto. Apesar de requerer altíssimas quantidades de tempo dos alunos, o projeto integrador recompensa a dedicação com a consolidação do conhecimento: a prática, a dúvida e o esforço tornam o conhecimento mais profundo e duradouro e garante ao aluno uma experiência ímpar de desenvolvimento de projetos. O presente projeto foi desenvolvido para a disciplina “Projeto Integrador VII”.

Com os conceitos necessários já agregados, pode-se então continuar o desenvolvimento do projeto.

3. DESENVOLVIMENTO DA CONCEPÇÃO

Com objetivos bem estabelecidos relacionados ao funcionamento eficiente do sistema mecatrônico e de seus resultados, optou-se por desenvolver o sistema com base na metodologia de projetos chamada PRODIP. O PRODIP, Projeto Integrado de Produtos tem



sua utilidade justificada ao justificar-se a utilidade da metodologia de produtos, “Para desenvolver um produto com eficiência e eficácia, é necessário saber *o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer.*” (BACK *et al.*, 2008). Com o projeto informacional, parte do projeto que levantou os dados dispostos na seção Contextualização, as informações básicas para o desenvolvimento do projeto foram levantadas, permitindo-se assim decidir como e com o que fazer o sistema mecatrônico.

A concepção utilizada, ilustrada na Figura 1 para facilitar a compreensão, funcionará da seguinte forma: um usuário causará uma perturbação na corda, dando a chamada “palhetada”. Com a vibração da corda, gerar-se-á um sinal elétrico que será enviado para o controlador. Ao realizar a comparação e o controle, será acionado um motor, cujo eixo está transmitindo seu movimento para a tarraxa da guitarra elétrica, aumentando ou diminuindo-se assim a tensão da corda e sua vibração.

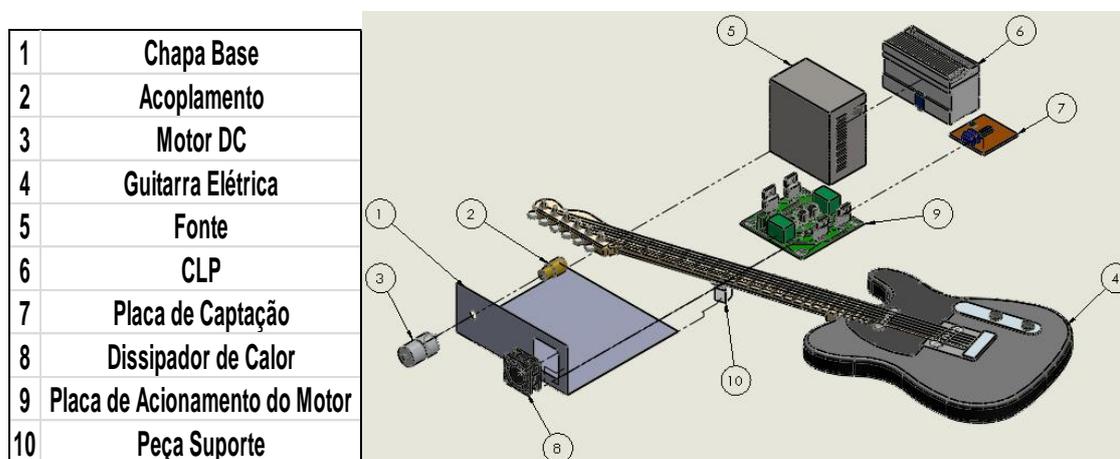


Figura 1 – Concepção do produto.

Para aumentar a especificidade e o detalhamento, optou-se dividir a concepção do produto em três módulos: sistema eletroeletrônico, sistema mecânico e o sistema de controle. A ordem na qual os módulos estão dispostos condiz com as necessidades e interdependências entre os módulos e seus projetos.

3.1. Concepção Eletroeletrônica

Para conseguir captar a vibração da corda, utilizou-se o captador magnético, já presente na guitarra. Com a vibração da corda, é gerada uma perturbação no campo magnético do ímã do captador e assim gera-se uma pequena tensão elétrica, a qual gera um sinal senoidal, de aproximadamente 1,5 mV de pico, na frequência correspondente. Devido à baixa tensão elétrica do sinal (se comparada à necessária para trabalhar-se satisfatoriamente com o sistema de controle), ruídos eletromagnéticos, e as entradas digitais do controlador escolhido trabalharem somente em 0 e 24 volts, confeccionou-se uma placa de circuito impresso para realizar a filtragem, amplificação e modulação do sinal. Com filtros na placa, conseguiu-se isolar o quarto harmônico e modular o sinal original da guitarra elétrica em uma onda quadrada.



Na Figura 2, tem-se o esquemático e a placa de captação. Nota-se que a versão de protótipo, seja por tempo, por eficiência e por questões financeiras, foi a versão final utilizada no desenvolvimento do trabalho, vencendo sua aparência e apresentando ótimos resultados.

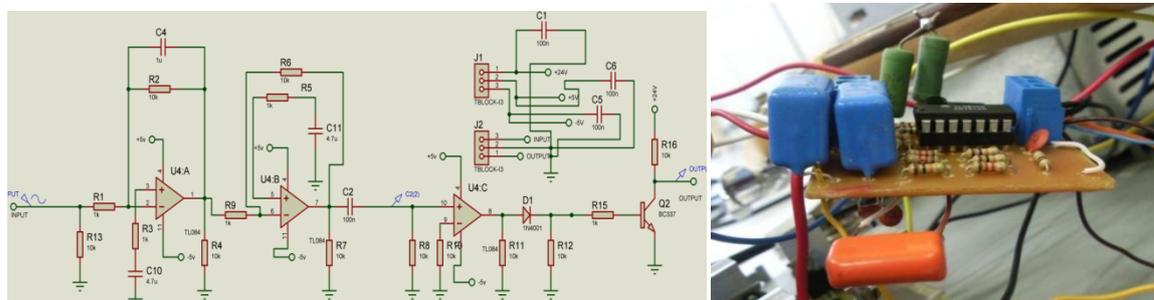


Figura 2 – Esquemático e Placa de Captação.

Com a placa de captação de sinais pronta, desenvolveu-se uma placa para realizar o acionamento do motor: a “placa ponte H”, ilustrada na Figura 3. Para ela, foi idealizada uma ponte H que operasse com alimentação de 12 V e um sinal PWM.

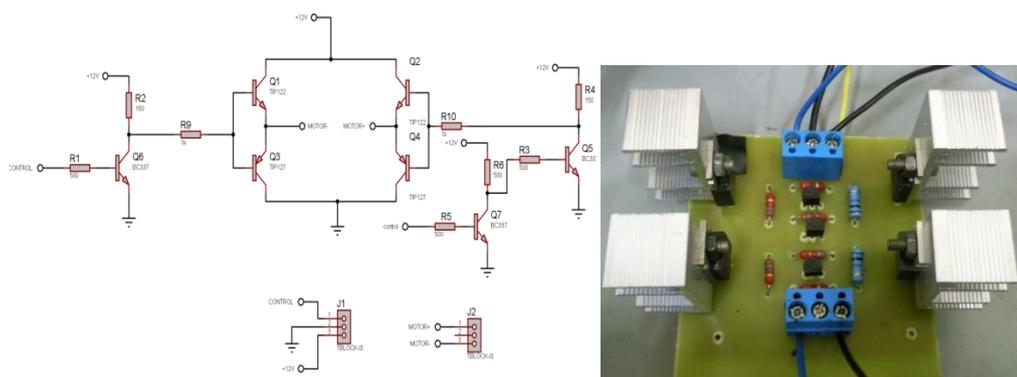


Figura 3 – Esquemático e Placa Ponte H.

Ela funciona acionando o motor em um sentido quando o tempo em alto do PWM for menor do que o tempo em baixo (razão cíclica inferior a 50%), acionando o motor no sentido contrário quando o tempo em baixo for superior ao em alto (razão cíclica superior a 50%) e realizando o travamento do motor quando se os tempos forem iguais (razão cíclica igual 50%), modelo de funcionamento conhecido como PWM complementar.

Na parte de potência, utilizou-se uma fonte chaveada, garantindo 0 V, 5V e 12V. Para a alimentação do CLP e de uma parte do circuito, precisou-se de uma fonte de 24V.

3.2. Concepção Mecânica

A concepção mecânica em si foi projetada com um *software* do tipo CAD, *Computer Aided Design*, garantindo segurança no projeto e a possibilidade de ter uma simulação visual do seu resultado final. Como a guitarra já oferecia uma estrutura onde há possibilidade de variar a tensão da corda foi necessário apenas desenvolver um acoplamento, ilustrado no lado esquerdo da Figura 4, para transferir a movimentação do eixo do motor à tarraxa da guitarra e



um apoio para o braço, ilustrado no lado direito da Figura 4, da guitarra para manter uma altura adequada para operação.

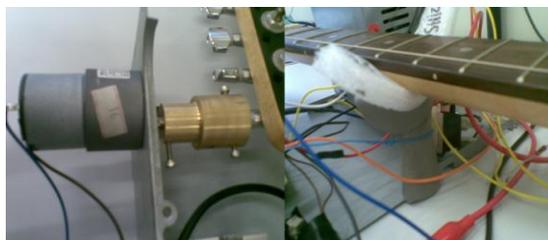


Figura 4 – Desenvolvimentos Mecânicos.

Ao levar-se em consideração a maneira como é realizada manualmente a afinação da guitarra elétrica, optou-se por fazer o motor girar no sentido contrário ao aperto, ou seja, o motor diminui a tensão sobre a corda caso a frequência fique maior do que a objetivada.

3.3. Sistema de Controle

O tipo de controle utilizado no sistema e com ampla aplicação na indústria é o controle em malha fechada do tipo Proporcional Integral Derivativo. Para Ogata (2010), uma das razões é a possibilidade de realizar ajustes finos no controlador PID em campo. Com efeitos diretos à mudança dos ganhos, o uso do PID juntamente com o supervisor é de grande valia, pois o aluno pode alterar os parâmetros e obter um resultado condizente com as mudanças realizadas.

Para aumentar-se o entendimento do controle do tipo PID, esboçou-se um diagrama de blocos, ilustrado na Figura 5, para problematizar a parte de controle de maneira visual e facilitar a explicação. Entra-se no sistema com um valor objetivado, o chamado *setpoint*, e o sistema faz uma comparação desse valor de referência com o valor medido nos sensores gerando assim um sinal 'erro', que é a diferença entre a referência e o mensurado. O controlador ajusta o sistema, aumentando ou diminuindo o ganho, para ele se aproximar do valor de referência, com grande intensidade quanto maior o erro, diminuindo a intensidade de acordo com a queda do erro, objetivando-se estabilizar sem que o dado mensurado seja maior do que o dado de referência.

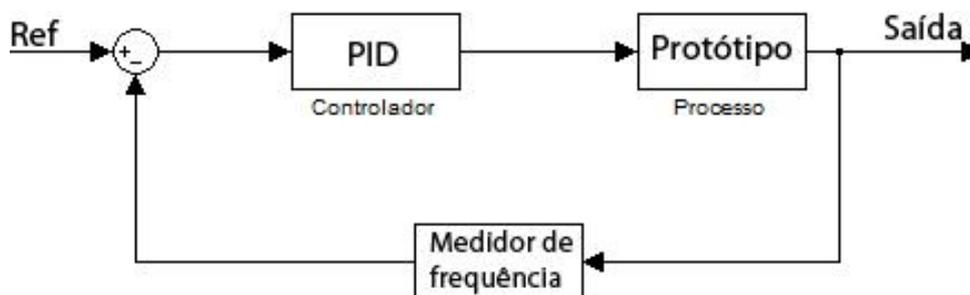


Figura 5 – Diagrama de Blocos.



Ao conhecer o comportamento do sistema, podem-se utilizar ferramentas para realizar uma aproximação e encontrar uma equação que tenha uma resposta o mais similar possível à curva de resposta do sistema. Com a equação, inicia-se uma nova etapa de cálculos e estimativas para determinar os ganhos responsáveis por modular a operação do sistema até alcançar a estabilidade.

Com os módulos eletrônicos e mecânicos prontos, pode-se realizar a aquisição da curva de resposta do sistema. Importante para todo o desenvolvimento do sistema de controle e ilustrada na Figura 6, a curva de resposta ilustra o comportamento do sistema de acordo com as excitações fornecidas.

Curva de Resposta do Sistema

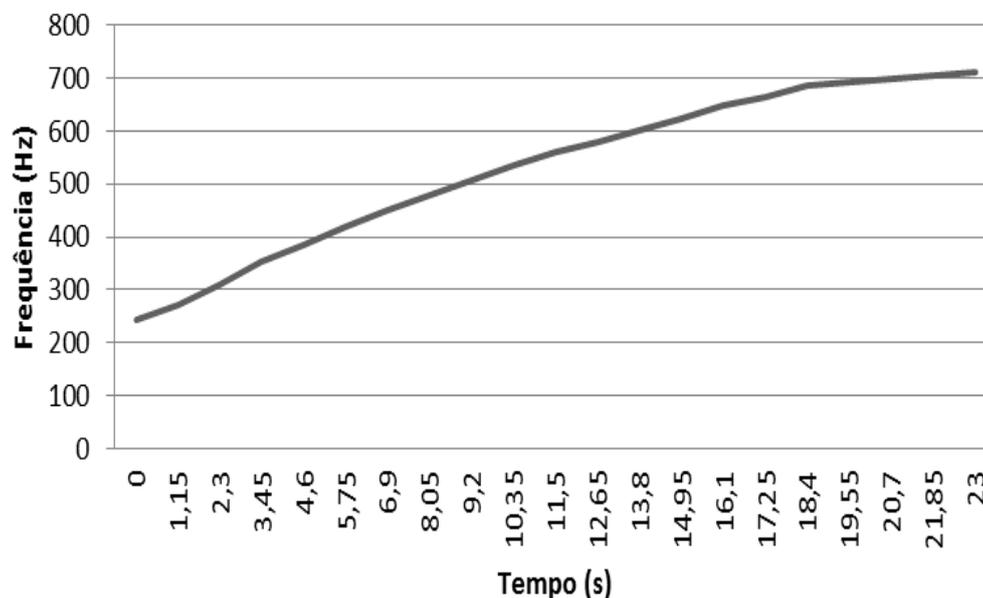


Figura 6 – Curva de Resposta do Sistema.

A equação (1) é a equação geral de um controlador PID, onde o K_p , K_i e K_d são os ganhos proporcional, integrativo e derivativo, respectivamente.

$$U(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) E(s) \quad (1)$$

A equação (2) representa um modelo paramétrico, para descrever o comportamento de sistemas, muito encontrado na indústria.

$$G_p(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\theta s} \quad (2)$$

Onde se tem ganho estático K , constante de tempo τ e atraso de transporte θ . Baseado neste modelo existem diversos métodos para, através de aproximações, realizar a modelagem



dos processos. De acordo com Silveira e Silva (2005), os mais utilizados são Ziegler-Nichols, Hägglund, Smith e Sundaresan & Krishnaswamy.

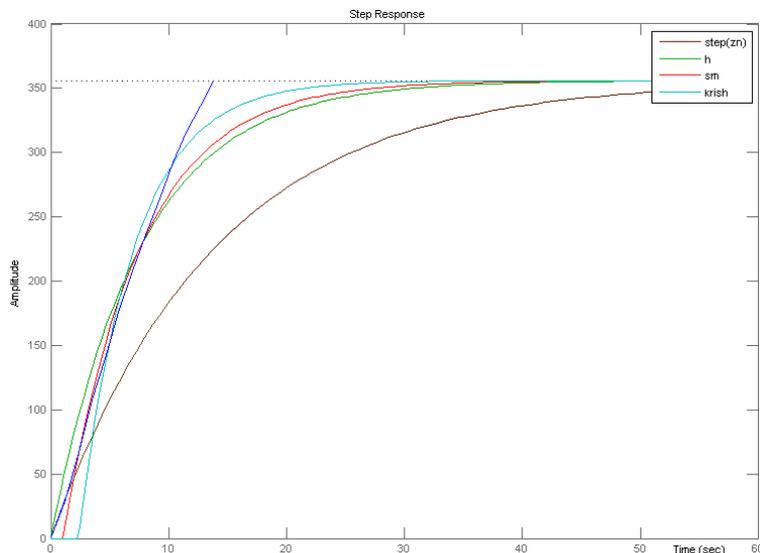


Figura 7 – Curva para Modelagem da Equação de Regimento do Sistema.

Após a obtenção dos modelos e de suas respostas, realizaram-se análises e optou-se pelo uso do modelo cuja resposta mais se assemelhou à curva de resposta: o modelo de Sundaresan & Krishnaswamy, ilustrada na equação (3).

$$G_p(s) = \frac{356e^{-2,349s}}{4,69s+1} \quad (3)$$

Ao fechar-se a malha, encontrou-se a equação (4), a qual será utilizada para obter os ganhos adequados para colocar no sistema e garantir a operação desejada.

$$F(s) = \frac{356Kd.s^2+356Kp.s+356Ki}{(356Kd+4,69).s^2+(356Kp+1).s+356Ki} \quad (4)$$

Pode-se então chegar numa resposta aproximada do comportamento do sistema e dos ganhos adequados para a operação ideal.

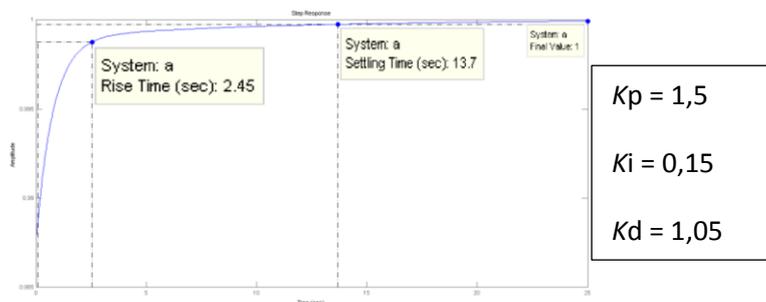


Figura 8 – Curva do Sistema em Malha Fechada.



Com os equacionamentos realizados, as equações já elucidadas e os ganhos estipulados, pode-se partir para o desenvolvimento do programa do controlador. O programa do controlador, basicamente, usa um medidor de frequência para averiguar qual a situação atual do sistema e um sistema PID que calcula o ganho a ser enviado para o motor, garantindo uma operação de alta velocidade e precisa.

O programa foi desenvolvido na linguagem *Ladder* (REF. IEC 61131-3), linguagem bastante característica na programação de CLPs. No programa, foi encontrada uma solução para o problema do sinal da guitarra, após alguns segundos, parar (assim como a corda para de vibrar), fazendo um armazenamento inteligente e constante do valor mensurado.

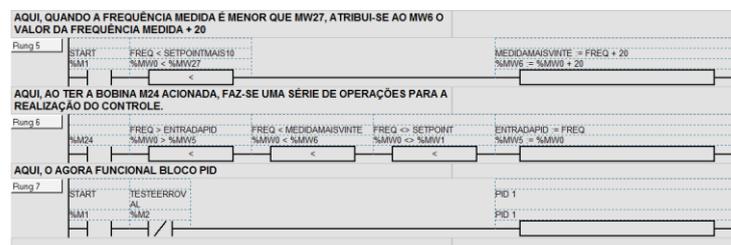


Figura 9 – Parte do programa controlador.

Para realizar o controle do sistema idealizou-se também um supervisor para poder modificar os parâmetros do programa e do controle ao mesmo tempo em que se pode analisar o comportamento do sistema, garantindo o apelo visual tão crítico para o aprendizado de tantos.

Na Figura 10 tem-se uma imagem do *software* desenvolvido, executado em um computador qualquer, que conta com um gráfico da curva de resposta do sistema em malha fechada, ilustrando o sinal de frequência utilizado como referência, o valor medido pelo sensor e o valor armazenado utilizado. No momento em que a imagem foi feita, o sistema tinha alcançado o equilíbrio. No caso do ganho ser menor do que 5496, o motor ficava parado. Sendo o ganho do motor decorrente do valor medido da frequência e olhando o gráfico, pode-se perceber que o sistema atingiu a frequência de referência.



Figura 10 – Supervisor do Sistema.



4. RESULTADOS

Vencendo os desafios que os equipamentos utilizados impuseram sobre o sistema, os resultados do sistema foram deveras satisfatórios. Conseguiu-se contornar as limitações do CLP e adequá-lo para a operação objetivada com eficácia. Como resultados, antes de listar dados, é possível listar um protótipo funcional e eficiente e uma maior compreensão acerca do controle do tipo PID para os envolvidos no desenvolvimento do produto.

A Tabela 1 mostra de maneira à garantir comparações e comprovações os resultados dos testes realizados.

Tabela 1 – Resultados dos Testes.

Setpoint (Hz)	Valor Final (Hz)	Erro Percentual (%)	Tempo de operação (s)
440	445	+ 1,1364	74
440	442	+ 0,4545	76
440	444	+ 0,9091	50
440	440	0,0000	58

A diferença no tempo de operação se dá pela frequência diferente na qual o sistema estava no início do teste. Como limitação do CLP utilizado em uma operação adversa à de seu funcionamento ideal, o sistema só ficaria estabilizado se o valor mensurado fosse maior igual ao valor de referência.

A Figura 11 mostra o protótipo em sua versão final, a qual foi utilizada para a realização dos testes.

A diferença entre os 12 segundos da Gibson *Robot*, a guitarra que se afina automaticamente, e os 60 segundos médios do protótipo, se justifica não só pelo objetivo diferente de cada produto: enquanto que na afinação da guitarra, se objetiva curto tempo de operação, no ambiente acadêmico, a duração curta dificultaria a análise dos elementos para a realização do controle de processos. O fato de um elemento tão usado industrialmente como o CLP ser capaz de trabalhar fora de suas condições ideais incentiva o maior uso dela em sistemas didáticos.



Figura 11 – Protótipo.



Os resultados foram enormemente satisfatórios, pois conseguiu-se trabalhar com equipamentos que não eram os mais adequados para a correta operação do protótipo mas encontrando excelentes resultados. Na Figura 12, mensurada com o auxílio de um osciloscópio em paralelo com a conclusão da tarefa vista no supervisorio na Figura 10, pode-se perceber a saída da placa de captação da corda afinada. O sinal corresponde à nota Lá, cuja frequência central é de 440 Hz. O sinal está sendo medido advindo da placa de captação.

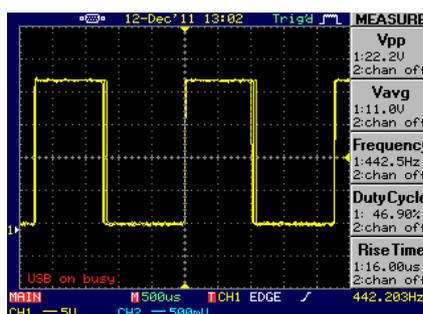


Figura 12 – Sinal da placa de captação para a afinação da nota Lá.

A precisão ficou dentro do esperado, tendo sido limitada pelo CLP. Caso fosse possível modificar o ganho do motor diretamente (e não por frações, que era a única forma que o produto permitia), a precisão poderia ter sido maior.

5. CONCLUSÕES

Uma das mais animadoras conclusões, é que uma das melhores formas de atrair a atenção é oferecer uma espécie de isca, que prenda a atenção do aluno e mexa com sua curiosidade, de maneira a prepara-lo para a agregação de novos conhecimentos. Ao trabalhar-se com algo tão presente no cotidiano de grande parte da população como a música, notou-se interesse de quase todos que souberam do projeto. Muitos conceitos de Controle de Processos puderam ser trocados ao ter o ouvinte sido fisgado pelo seu interesse. De alunos de diversos módulos, professores, parentes, secretários e amigos, o interesse de saber o que era aquela “coisa sobre a bancada”, e, após conhecer o propósito do sistema mecatrônico, conhecer a maneira como objetivo era alcançado.

Pode-se ver em prática princípios estudados na sala de aula e agrega-los com memória tátil e visual, ao operar o sistema e verificar o seu comportamento com diferentes parâmetros. É, sem dúvida, uma área que merece muita atenção, tanto dos alunos quanto dos professores, pois pode ser um exemplo prático que traga entendimento para vários alunos.

O produto superou as expectativas com relação à didática. Ao permitir a mudança dos ganhos do controlador, foi possível observar diferentes tipos de resposta, evidenciando o fato de que para cada situação há um controlador (e seus ganhos) mais adequado. Caso o aluno tenha a oportunidade, também é possível alterar o programa do controlador, resolvendo o problema de maneiras diferentes e trabalhando-se com *Ladder* e CLPs.

Para futuros desenvolvimentos, é elevada a quantidade de possibilidades factíveis e interessantes. A troca do CLP por um microcontrolador e utilizar placas de circuito impresso com componentes SMD, reduzindo seu tamanho, garantiriam ao projeto maior qualidade, eficiência, portabilidade e alto valor para o mercado.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASMUS, B.F.; NACCACHE, B.; VICTORETTE, M. W. D. Desenvolvimento de um sistema de controle aplicado a uma estufa de desidratação de frutas. **Anais: XXXIX – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia.** Blumenal: FURB, 2011.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto Integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem.** Barueri, SP: Manole, 2008.
- BENTO, Celso Roberto. **Sistemas de Controle – Teoria e Projetos.** Érica, São Paulo, 1989.
- BERENSON, Dmitry; REEVES, Galen. **Digital Guitar Tuner.** 2004. Disponível em: <<http://courses.cit.cornell.edu/ee476/FinalProjects/s2004/ddb25/complete2.htm>> Último acesso em 11 de dezembro de 2011.
- ELIPSE Software. **TUTORIAL - Versão 2.5.** Elipse, 2007.
- MARGOTTI, E.; SCHMITT, A.; BUENO, M. R.; BARRETO, T. J. P. Kit didático para controle de nível de líquidos. **Anais: XXXIX – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia.** Blumenal: FURB, 2011.
- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno.** Prentice Hall. 5ª. Edição, 2011.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. F. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** 6ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- SCHNEIDER electric. Twido - **Programmable Controllers Analog I/O Modules Hardware Guide.** 2009. Disponível em: < [http://www.global-download.schneider-electric.com/85257578007E5C8A/all/97A1347677AF795A88257578007B6753/\\$File/35011389_k01_000_05.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/85257578007E5C8A/all/97A1347677AF795A88257578007B6753/$File/35011389_k01_000_05.pdf) > Último acesso em 11 de dezembro de 2011.
- SILVEIRA E SILVA, Aguilaldo. **Fundamentos de Controle Clássico.** Depto. de Engenharia Elétrica – EEL – CTC – UFSC, Florianópolis, 2005 (versão provisória).
- TENÓRIO, E.; SILVA, L. M.; MELLO, O. H. Simulador em Aulas Teóricas. **Anais: XXXVII – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia.** Recife : UPE, 2009.

AFINOMÁTICO: AUTOMATED SYSTEM FOR STRINGED INSTRUMENT TUNING CONTROL BY FREQUENCY

Abstract: *This article details the development of a mechatronic system whose goal, in addition to tune musical instruments, is to provide a practical application, with elements of industrial use, to Process Control for education. The design methodology used ensured a well-structured and safe development. An electric guitar, a Programmable Logic Controller (executing a proportional integral derivative control, PID), peripheral electronic boards and supervision programs were used to build the machine that allows the execution of Process Control. It was found that there is a great learning efficiency when relating complex issues with interesting topics and the construction of educational machines bring great benefit in teaching several disciplines of Engineering.*

Key-words: *Practical Application Mechatronic System, PID, Process Control.*