

AGPID: UMA INTERFÁCE DE USUÁRIO COMO SUPORTE ÀS DISCIPLINAS DA ÁREA DE SISTEMA DE CONTROLE E COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA

Thaísse Dias Paes – thaísse.paes@itec.ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica
Rua Augusto Corrêa, 1 – Guamá
66075-110– Belém – PA

Juan Ferreira Vidal – jfvidal@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Rua Augusto Corrêa, 1 – Guamá
66075-110– Belém – PA

Caio Queiroz Silva – caio.que98@hotmail.com

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica
Rua Augusto Corrêa, 1 – Guamá
66075-110– Belém – PA

Orlando Fonseca Silva – ofosi@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica
Rua Augusto Corrêa, 1 – Guamá
66075-110– Belém – PA

Resumo: Este trabalho apresenta uma interface gráfica de usuário, chamada AGPID, desenvolvida em ambiente MATLAB®, como ferramenta de ensino para as disciplinas de controle e computação evolucionária. A interface consiste em um aplicativo que torna possível a sintonização de controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID) utilizando Algoritmo Genético (AG). O aplicativo permite ao usuário modificar parâmetros de projetos e configurações do algoritmo, o que torna possível a análise e observação dos efeitos de cada escolha de projeto. A interface foi apresentada a alunos dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação, que receberam um questionário para avaliar o trabalho.

Palavras-chave: Otimização de parâmetros. Algoritmo Genético. PID. Ensino.

1 INTRODUÇÃO

A interface gráfica de usuário (GUI, do inglês *Graphical User Interface*) é uma representação gráfica de uma ou mais janelas que contém controles, chamados de componentes, que permitem ao usuário realizar tarefas interativas. O usuário de uma GUI não precisa criar um *script* ou digitar comandos para realizar as tarefas. Ao contrário dos programas de codificação, o usuário de uma GUI não precisa entender os detalhes de como as tarefas são executadas.

Aliando essas características à importância das imagens no processo de cognição humana, é possível desenvolver ferramentas computacionais voltadas ao ensino que utilizam programação visual para auxiliar o processo de aprendizado. Essas ferramentas oferecem ao

usuário um ambiente mais intuitivo e com um maior poder de aprendizado, facilitando a memorização e o entendimento do domínio da aplicação (BOSHERNITSAN, 2004).

Dada a relevância dos controladores PID (ANG, 2005), o êxito de diversos processos industriais depende fundamentalmente de projetos adequados, além de simulações e testes.

Técnicas de inteligência computacional (IC) vêm sendo aplicadas com êxito em muitos desses problemas (TARIQUE et al., 2013; VIDAL et al., 2016; CHANG; SHIH, 2010).

Visto o desenvolvimento de muitas pesquisas atuais a respeito do projeto de controladores PID utilizando IC, a motivação desse trabalho se dá pela necessidade de introduzir o tema a alunos da graduação e proporcionar-lhes contato com o assunto, de forma a estimular o interesse por esta área. Para que isto seja possível, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas de ensino interdisciplinares que auxiliem no processo ensino-aprendizado e que criem a possibilidade para que o estudante aprimore seus conhecimentos por meio de sua própria produção.

O objetivo deste trabalho é apresentar e analisar a aplicação de uma interface gráfica de usuário em ambiente MATLAB® (MATHWORKS®, 2017) a fim de utilizá-la como ferramenta de ensino para as disciplinas de Sistemas de Controle e Computação Evolucionária. A interface apresentada é chamada de AGPID e possibilita o projeto de controladores PID utilizando Algoritmos Genéticos (AG) de forma interativa.

2 SINTONIA DE CONTROLADORES PID E ALGORITMOS GENÉTICOS

As técnicas tradicionais de sintonia de controladores PID (ZIGLER; NICHOLS, 1942; COHEN; COON, 1953; ÅSTRÖM; HÅGGLUND, 1995) pressupõem o conhecimento prévio da dinâmica dos processos ou impõe, ainda, características específicas para que seja possível seu uso na sintonia dos parâmetros do PID. Nesse contexto, apresentam-se as metaheurísticas populacionais como métodos de otimização que implementam uma busca por soluções ótimas para problemas complexos através do uso de direções orientadas por uma função objetivo.

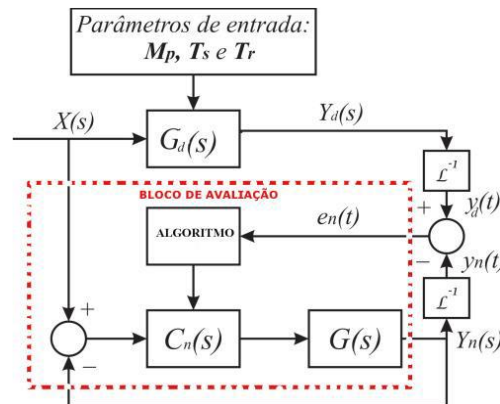
Os AGs pertencem a esta classe de algoritmos e vêm sendo utilizados em aplicações de sistemas de controle com sucesso (VIDAL et al., 2015; VIDAL, 2016). Em Paiva (2010) foi aplicado um AG para realizar a sintonia dos ganhos de um controlador PID e sua validação é feita através da comparação com outros métodos de sintonia clássicos encontrados na literatura. No trabalho de (SANTOS et al., 2011) é utilizado o AG para realizar a busca dos parâmetros de um PID que deve realizar o controle de um sistema de nível de líquido. Já Vidal (2016) faz a comparação de metaheurísticas populacionais na sintonia de parâmetros de controladores clássicos, incluindo o AG.

Cada indivíduo, Θ , da população, n , é representado por um vetor que contém os parâmetros do controlador PID candidato a solução do problema, como representado na Equação 1.

$$\Theta_n = [K_p \ T_i \ T_d] \quad (1)$$

Cada indivíduo é avaliado de modo que uma heurística seja utilizada para guiar a população em direção às regiões onde estão contidas as melhores soluções. A Figura 1 apresenta a estrutura em diagrama de blocos utilizada para avaliar a qualidade da resposta gerada pelos parâmetros do controlador representados por cada indivíduo.

Figura 1 – Estrutura de sintonia utilizando metaheurísticas.



Fonte: (VIDAL, 2016).

O diagrama é constituído pelo bloco que contém a função de malha fechada desejada $G_d(s)$ e o bloco de avaliação, que é o sistema em malha fechada formado pelo controlador $C_n(s)$, a planta $G(s)$ e o diagrama com o AG para sintonia.

Um sinal $X(s)$ é aplicado à função em malha fechada desejada a fim de gerar o sinal desejado $Y_d(s)$. O mesmo sinal de entrada é aplicado ao bloco de avaliação, onde os parâmetros do controlador serão determinados pelo indivíduo Θ . Para cada indivíduo, é gerada a resposta $Y_n(s)$, com $n = 1, 2, \dots, N$; onde N é o tamanho da população. Estes sinais são, por fim, convertidos para o domínio do tempo juntamente com o sinal $Y_d(s)$ gerando os sinais $y_d(t)$ e $y_n(t)$. O erro entre a resposta do n -ésimo indivíduo da população e a resposta desejada de projeto é dado pela Equação 2.

$$e_n(t) = y_d(t) - y_n(t) \quad (2)$$

Assim, todos os sinais de erro $e_n(t)$ são repassados ao algoritmo de sintonia para ser incluído no cálculo da avaliação de cada indivíduo. A partir do sinal de erro obtido para cada indivíduo, onde cada sinal apresenta um número total de m pontos, o erro médio quadrático para cada indivíduo é obtido pela Equação 3.

$$\bar{e}_n = \sum_{t=1}^m \frac{[e_n(t)]^2}{m} \quad (3)$$

Cada indivíduo é avaliado usando a função objetivo definida na Equação 4.

$$F_n = \frac{1}{0,001 + \bar{e}_n} \quad (4)$$

Dessa forma, o indivíduo que obtiver o menor valor de erro médio quadrático será o indivíduo com maior valor de avaliação e, conseqüentemente, este indivíduo fornecerá parâmetros do controlador que caracterizam a resposta mais próxima da resposta desejada.

3 AGPID: UMA INTERFACE GRÁFICA DE USUÁRIO

3.1 O aplicativo

O AGPID é um aplicativo desenvolvido para o *software* MATLAB® com a finalidade de auxiliar projetos de controladores PID utilizando os Algoritmos Genéticos como método de sintonização. Em destaque na Figura 2 encontra-se o AGPID.

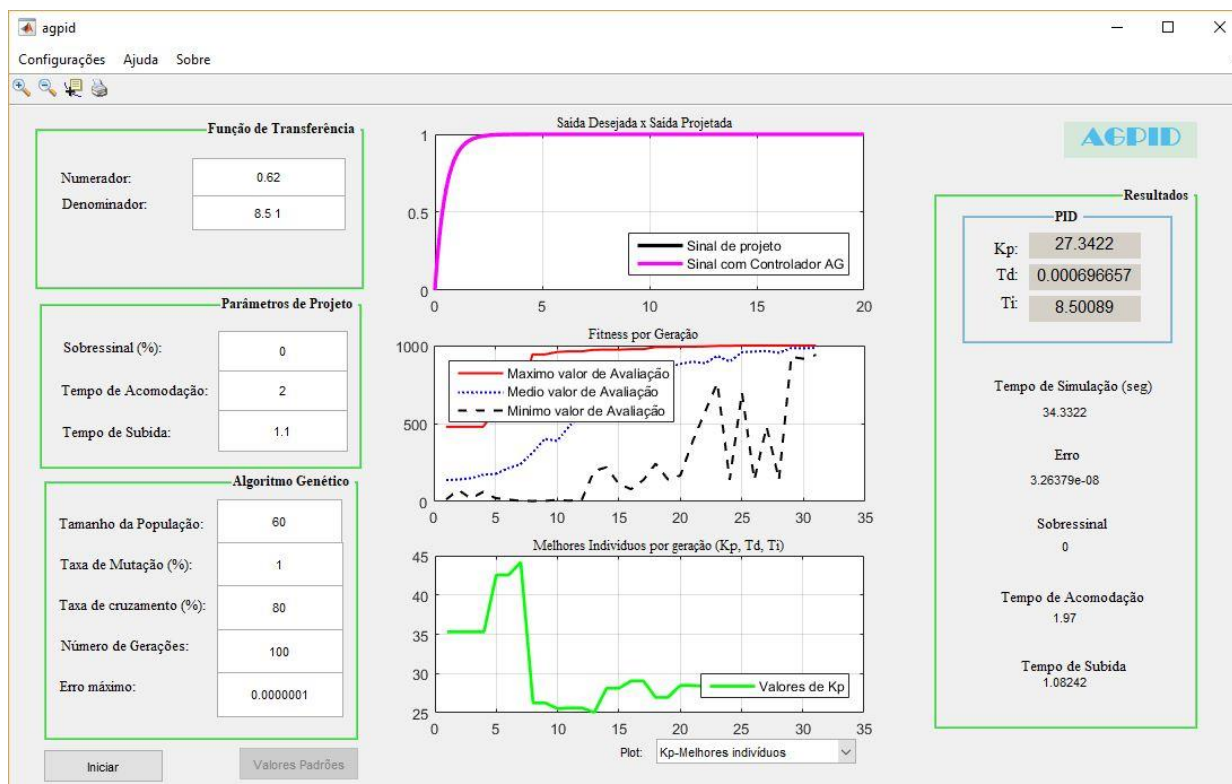
Figura 2 – Apps do MATLAB. Em destaque o AGPID.



A apresentação da interface proposta consiste em uma tela principal organizada em três colunas como mostra a Figura 3.

Na coluna da esquerda tem-se a principal interação entre o usuário e a máquina, nela o

Figura 3 – Tela principal do AGPID.



Fonte: Elaboração dos autores

usuário define: os polinômios do numerador e do denominador da função de transferência da planta em malha aberta a ser controlada; as especificações de projeto, ou seja, sobressinal (M_p), tempo de acomodação (T_s) e tempo de subida (T_r) e, por fim, os principais parâmetros relativos ao Algoritmo Genético e seus critérios de parada, ou seja, tamanho da população, taxas de mutação e de cruzamento, número de gerações e erro máximo.

A segunda coluna da interface apresenta três gráficos para a avaliação visual dos resultados. A terceira coluna apresenta os resultados numéricos obtidos, os novos parâmetros do controlador projetado e informações adicionais sobre o projeto e a nova saída da planta.

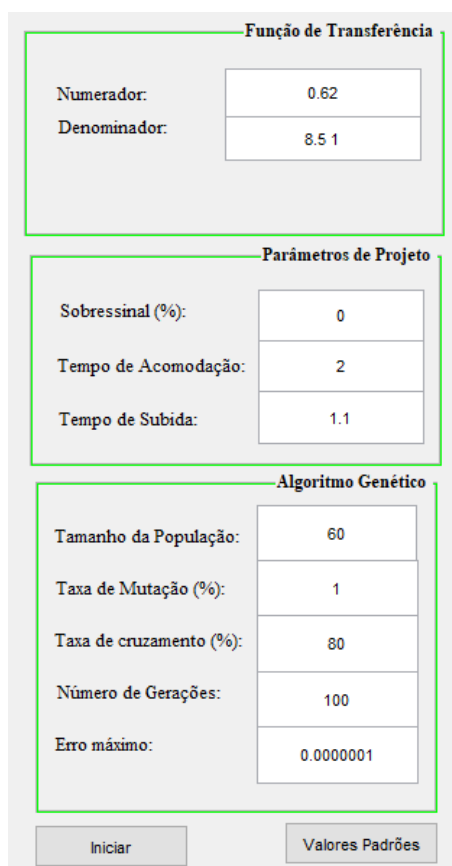
Exemplo

Dado o sistema de primeira ordem da Equação 5, deseja-se controlar o sistema, de forma a obter um tempo de assentamento menor ou igual a 2 segundos, um tempo de subida menor que 1.1 segundos, um sobressinal máximo de 0% e sem erro em regime permanente.

$$G(s) = \frac{0,62}{8,5s + 1} \quad (5)$$

Para isso o usuário anseia utilizar um AG com uma população de 60 indivíduos, uma taxa de mutação igual a 1%, uma taxa de cruzamento de 80%, um número de 100 gerações e o erro máximo de 0.0000001. A Figura 4 ilustra o exemplo com todos os dados de entrada fornecidos à interface.

Figura 4 – Dados de entrada inseridos na interface.



Função de Transferência	
Numerador:	0.62
Denominador:	8.5 1

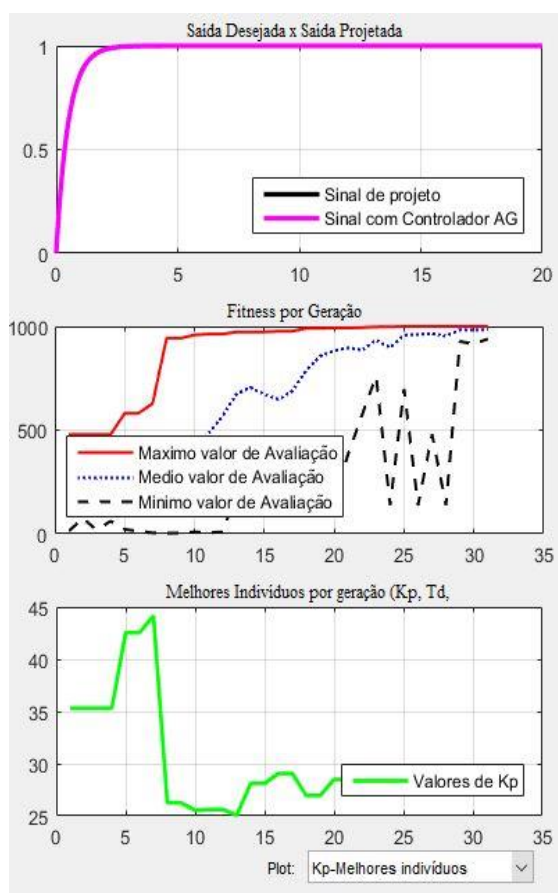
Parâmetros de Projeto	
Sobressinal (%):	0
Tempo de Acomodação:	2
Tempo de Subida:	1.1

Algoritmo Genético	
Tamanho da População:	60
Taxa de Mutação (%):	1
Taxa de cruzamento (%):	80
Número de Gerações:	100
Erro máximo:	0.0000001

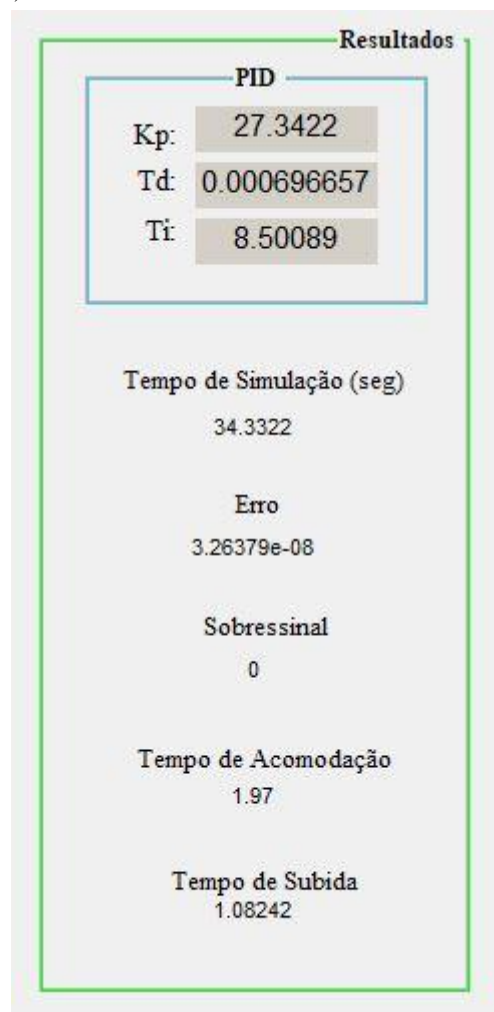
Fonte: Elaboração dos autores

Os resultados obtidos são mostrados graficamente e numericamente como ilustrados nas Figura 5a e 5b.

Figura 5 – (a) Resultados gráficos e (b) Resultados numéricos.



(a)



(b)

Fonte: Elaboração dos autores

4 UTILIZANDO O AGPID COMO AUXÍLIO AO ENSINO

Como apoio à utilização da interface, um roteiro foi elaborado a fim de auxiliar a aprendizagem/aluno e o ensino/professor. O material didático pode ser utilizado em uma aula de laboratório de sistemas controle ou ainda para aulas de computação evolucionária, adaptando-se ao objetivo das classes. Os dois principais objetivos são:

- Proporcionar ao usuário a percepção, de forma prática e intuitiva, da ação do controlador PID.
- Auxiliar o aluno a avaliar e concluir de que forma a escolha dos parâmetros do AG influenciam nos resultados.

Três problemas propostos solicitam o projeto de controladores PID para tornar o sistema mais rápido, diminuir o sobressinal e corrigir erros em regime permanente. Em todos os casos o usuário é incentivado a comparar a saída do sistema antes e depois de controlá-lo para que este possa perceber a atuação do controle. Além disso, em cada uma das questões

são solicitados, ao menos, três projetos, tendo algum parâmetro do AG com diferentes valores em cada um deles.

O primeiro problema trata de um sistema de primeira ordem lento e com erro em regime permanente. O objetivo deste é que o aluno observe a ação do controlador PID ao diminuir o tempo de acomodação do sinal, tornando o sistema mais rápido, e de corrigir o erro em regime permanente. Nesse problema, ainda, solicita-se que três projetos sejam realizados variando o tamanho da população inicial em cada um. Desse modo, o usuário pode observar os resultados para uma população pequena, média e grande, de forma a concluir que um valor muito baixo resulta em poucas opções para o cruzamento, portanto pouco espaço de busca; já um valor alto requer mais recursos computacionais, aumentando o tempo de simulação.

O segundo caso trata de um sistema rápido, porém com erro em regime permanente. O objetivo deste ponto é que o aluno perceba a competência do controlador PID de corrigir esse tipo de erro. Nesta questão, deseja-se ainda, que o aluno varie a taxa de cruzamento (de 60-80%) de modo a perceber como esta influencia no projeto. Ao comparar os resultados o usuário deve perceber que uma taxa muito alta pode ocasionar convergência prematura se os melhores indivíduos forem pontos de ótimos locais.

O terceiro problema trata de um sistema de segunda ordem. Deseja-se projetar um controlador para que se obtenha um sistema mais rápido e com um sobressinal menor que 10%. Nesse problema, analisa-se a influência da taxa de mutação, variando-a entre 1 e 10%. Ainda neste problema, é solicitado um quarto projeto, que deve ser feito sem elitismo (desativando-o no menu configurações).

5 RESULTADOS E AVALIAÇÕES

O app AGPID foi desenvolvido com a finalidade de fornecer uma ferramenta amigável e dinâmica para projeto de controladores PID utilizando AG, em especial na sala de aula. Assim, para avaliar a interface, a mesma foi apresentada a alunos de distintos semestres dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação da Universidade Federal do Pará como uma atividade da Semana do Instituto de Tecnologia (SITEC).

A SITEC é um evento anual promovido pelo Instituto de Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará. Em 2017 o evento ocorreu no período de 30 de agosto à 01 de setembro e foi dedicado a uma reflexão sobre o "O Desafio do Crescimento em Meio à Crise e a Responsabilidade da Indústria e da Área Tecnológica". Durante o evento as faculdades disponibilizam atividades como oficinas, palestras e minicursos abertas ao público geral.

O AGPID foi apresentado em um minicurso chamado "Sintonia de Controladores PID utilizando Algoritmo Genético", ofertado pela faculdade de Engenharia de Computação e Telecomunicações (FCT). A atividade teve carga horária de 4 horas, distribuída igualmente em dois dias. No primeiro dia, a fim de nivelar o conhecimento dos alunos, realizou-se uma apresentação sobre fundamentos de AGs e de controladores PID. No segundo dia, os estudantes utilizaram o aplicativo e foram orientados pela ministrante e pelo roteiro. O curso teve a participação de 15 estudantes e ocorreu no laboratório de computação da FCT.

Solicitou-se aos participantes que utilizassem a interface de acordo com o roteiro proposto. Para avaliar a experiência desses com a interface, aplicou-se um questionário sobre o uso e funcionalidade do AGPID, podendo-se atribuir notas de 1 a 5. Sendo 1 a nota mínima (usuário nada satisfeito) e 5 a nota máxima (usuário totalmente satisfeito).

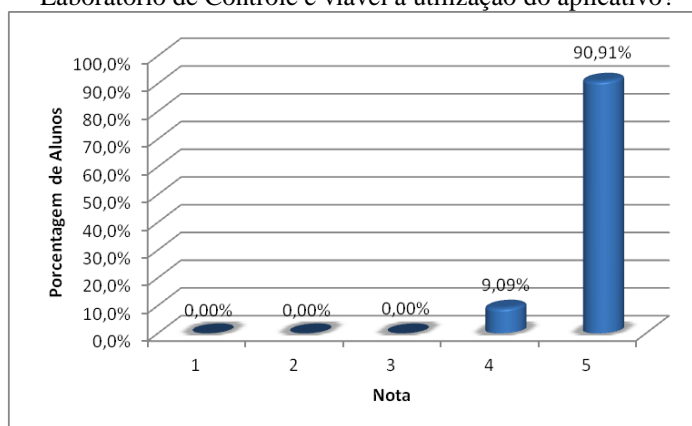
As perguntas foram as seguintes:

1 – O aplicativo AGPID utilizado mostrou-se de fácil acesso ao usuário?

- 2 – É de fácil utilização? Fácil aprendizagem? O usuário consegue em pouco tempo explorar o sistema?
- 3 – Experiência agradável? A interação com o sistema é agradável?
- 4 – O uso do software aprofundou seus conhecimentos no assunto abordado?
- 5 – Você acredita que para a disciplina Laboratório de Controle é viável a utilização do aplicativo?
- 6 – Você acredita que para a disciplina Computação Evolucionária é viável a utilização do aplicativo?

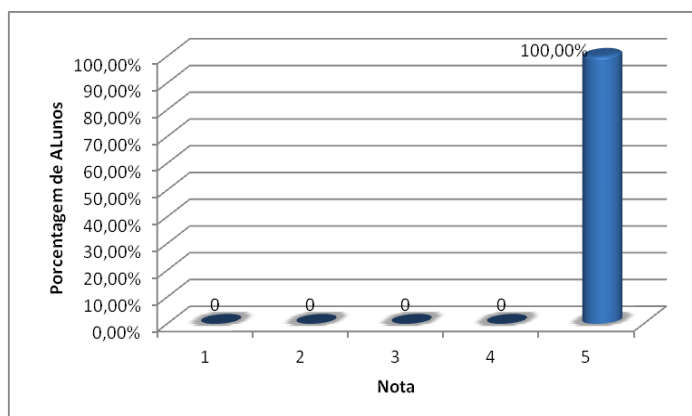
Dentre os resultados destas perguntas destacam-se que 90% dos alunos acreditam que o uso do AGPID é viável para a disciplina de sistemas de controle e 100% acreditam que é viável para a disciplina de computação evolucionária. Estes resultados estão apresentados nas Figuras 6 e 7, além do quadro geral de médias apresentado na Figura 8.

Figura 6 – Respostas à pergunta 05: Você acredita que para a disciplina Laboratório de Controle é viável a utilização do aplicativo?



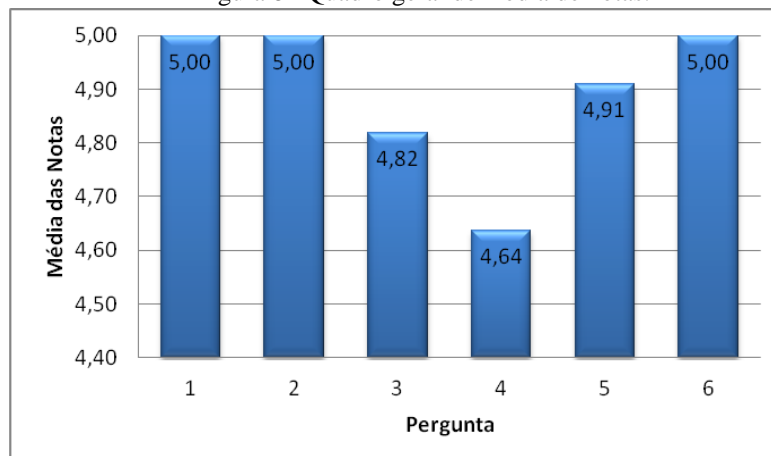
Fonte: Elaboração dos autores

Figura 7 - Você acredita que para a disciplina Computação Evolucionária é viável a utilização do aplicativo?



Fonte: Elaboração dos autores

Figura 8– Quadro geral de média de notas.



Fonte: Elaboração dos autores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma interface gráfica, como ferramenta de ensino-aprendizado, para sintonia de controladores PID utilizando Algoritmo Genético. O trabalho foi desenvolvido em ambiente MATLAB® e gerou um *app* com a finalidade de ser utilizado nas disciplinas de Sistemas de Controle e Computação Evolucionária para que o controle inteligente possa ser abordado na sala de aula.

O *app* se mostrou eficiente como suporte ao processo de ensino-aprendizado e possibilitou a abordagem tanto de controladores PID, quanto de algoritmos genéticos. Para avaliar esta metodologia, o tema foi abordado em uma turma de alunos de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação. Com um suporte de um roteiro e um instrutor, os alunos utilizaram a interface e responderam algumas perguntas sobre a utilização desta. As médias de notas variaram entre 4,64 e 5,00; destacando-se que 90% dos usuários jugaram o *app* apropriado para o aprendizado para as aulas de sistemas de controle e 100% o identificaram como uma ferramenta de ensino para a disciplina de Computação Evolucionária.

Alguns aperfeiçoamentos podem ser feitos em versões futuras da interface. Entre elas, sugere-se a inclusão de mais opções de representações cromossômicas e também a geração de dados estatísticos quando se necessita realizar várias simulações. Outra melhoria futura seria incluir a opção de importar modelos de sistemas projetados no SIMULINK®.

Em vista disso, conclui-se que o desenvolvimento de uma interface de sintonização de controladores PID utilizando Algoritmo Genético cumpriu seu objetivo como auxílio ao ensino-aprendizado de forma eficaz.

Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, propõe-se a implementação de interfaces de usuário que utilizem outros algoritmos bio-inspirados para a sintonia de controladores clássicos. Entre essas técnicas destacam-se: *Particles Swarm Optimization* (PSO), *Bacterial Foraging Optimization* (BFO), *Ant Colony Optimization* (ACO).

REFERÊNCIAS

ÅSTRÖM, K. J.; HÅGGLUND, T. (1995). “Automatic Tuning of PID Controllers”, **The Control Handbook**, W. S. Levine (Ed.), CRC Press.

ANG, K.H., CHONG, G., LI, Y., “PID control system analysis, design, and technology,” IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 13, no. 4, pp. 559– 576, Jul. 2005.

BOSHERNITSAN, M., DOWNES, M. S. “Visual Programming Languages: A Survey”. University of California, Berkeley, Report No. UCB/CSD-04-1368, 2004.

CHANG, W. D.; SHIH, S. P., “PID Controller Design of Nonlinear Systems using an improved Particle Swarm Optimization Approach”. **Commun Nonlinear Sci Numer Simulat, journal**, 2010.

PAIVA, L. S. **Aplicação de algoritmos genéticos para a sintonia de controladores**. Departamento de Engenharia Electrotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2010.

SANTOS, F. G.; Mazzini, H. M.; Souza, B. B. e Melot-ti, G. Métodos de sintonia de controladores PI/PID aplicados a um sistema de nível. **X-SBAI- Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**, 2011.

TARIQUE, A. and GABBAR, H. A., “Particle Swarm Optimization (PSO) Based Turbine Control”. **Intelligent Control and Automation Journal**, 2013.

VIDAL, J. F.; CASTRO, A. G.. COMPARAÇÃO DE METAHEURÍSTICAS POPULACIONAIS NA SINTONIA DE PARÂMETROS DE CONTROLADORES CLÁSSICOS. In: XXI CBA-Congresso Brasileiro de Automática, 2016, Vitória/ES. **Anais do XXI CBA- Congresso Brasileiro de Automática**, 2016.

VIDAL, J. F.; SILVA, O. F. ; FREITAS, V. S. ; MEDEIROS, R. L. P. ; CASTRO, A. G. . Estratégia de Identificação de Sistemas e Controle PID via Algoritmo Genético em Modelo de Ilhas. In: XII Simpósio Brasileiro de Automática Inteligente, 2015, Natal - RN. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Inteligência Computacional**, 2015

ZIEGLER, J. G.; NICHOLS, N. B. “Optimum Settings for Automatic Controllers”. Trans. ASME, Vol. 64, pp. 759-768, 1942.

AGPID: A USER INTERFACE AS SUPPORT FOR THE COURSES CONTROL SYSTEM AND EVOLUTIONARY COMPUTATION

Abstract: *This work presents the development of a graphical user interface, called AGPID, in a MATLAB environment to be used as a teaching tool for the courses control system and evolutionary. The interface is an application that makes possible the tuning of PID controllers using genetic algorithms. The application allows the user to modify project parameters and algorithm settings, which makes it possible to analyze and observe the effects of each project choice. The interface was presented to the students of the Electrical Engineering and Computer Engineering majors, and they were given a questionnaire to validate the work.*

Key-words: *Parameter optimization. Genetic Algorithm. PID. Teaching.*