



DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO AUXILIAR NO ENSINO DE SISTEMAS DE CONTROLE APLICADO À ENGENHARIA AEROESPACIAL

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2022.3777

Luan Felipe Sampaio - luan.sampaio@aluno.ufabc.edu.br
UFABC

Heloise Assis Fazzolari - heloise.fazzolari@ufabc.edu.br
UFABC

Resumo: *O ensino de Engenharia sofreu grande modificação devido à situação de ensino remoto provocada pela pandemia de Covid-19. O presente trabalho mostra o desenvolvimento de um aplicativo auxiliar ao ensino de engenharia, com ênfase na Engenharia Aeroespacial, tanto em aulas remotas quanto presenciais, com conteúdo fundamental relacionado à sistemas de controle, exemplos aplicados à área de Engenharia Aeroespacial, interatividade e funcionalidades que auxiliam no processo de aprendizagem do aluno e aumentam sua motivação. O aplicativo tem se mostrado promissor como auxiliar ao ensino, tanto aos alunos quanto aos professores da área.*

Palavras-chave: *Ensino de Engenharia, Interatividade, Problemas Aplicados, Aplicativo, Ensino de Engenharia Aeroespacial*



DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO AUXILIAR NO ENSINO DE SISTEMAS DE CONTROLE APLICADO À ENGENHARIA AEROESPACIAL

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm crescido a utilização e a importância da tecnologia como aliada aos processos de ensino-aprendizagem. Com a pandemia de Covid-19 o ensino passou a ser remoto e o ensino de engenharia passou a enfrentar dificuldades por ser um curso prático e que necessita de atividades laboratoriais.

As disciplinas relacionadas a sistemas de controle possuem, em sua maioria, atividades práticas de laboratório que auxiliam no entendimento de conceitos teóricos importantes e complementam a experiência de aprendizagem do aluno. Devido a limitação de espaço, tempo e recursos, a simulação computacional também é bastante utilizada para complementar as tarefas de laboratório, uma vez que possibilitam virtualizar experimentos, porém muitas vezes há dificuldades devido à necessidade de todos os alunos possuírem licença para utilização, em caso de softwares proprietários, ou necessidade de hardware não disponível a todos, como computadores com grande capacidade de processamento.

A análise da resposta transitória e de regime estacionário de sistemas de primeira e segunda ordens é parte fundamental nas disciplinas de sistemas de controle. Ao compreender o comportamento do sistema é possível inferir sobre sua estabilidade e projetar controladores de forma a obter o comportamento desejado do sistema em malha fechada. Uma das técnicas mais utilizadas comercialmente é o controle Proporcional Integral Derivativo (PID). (OGATA, 2010) Possui uma grande gama de aplicações industriais (ÅSTRÖM e HÄGGLUND, 2001, 2006). É muito importante que as disciplinas de controle abordem a análise e o projeto de sistemas utilizando controladores PID e alguns autores têm contribuído para este campo do ponto de vista educacional. (KELLY E MORENO, 2001; LEVA, 2006; TAHBOUB, 2011). Sendo assim, é importante obter estratégias que auxiliem o processo de ensino-aprendizagem destes conteúdos.

A motivação dos alunos e a facilitação do aprendizado é um desafio para o ensino de engenharia Aeroespacial, uma vez que o curso deve qualificar o profissional a atuar em sistemas associados com o setor Aeroespacial, o qual envolve aeronaves, foguetes e satélites artificiais e estas estruturas não estão presentes na rotina diária da sociedade, de maneira geral. Desta forma, é imprescindível que o aprendizado esteja relacionado às aplicações com as quais o profissional terá que lidar após sua formação.

O desenvolvimento de uma ferramenta auxiliar no ensino de sistemas de controle aplicado à Engenharia Aeroespacial, de baixo custo e de fácil acesso aos discentes pode contribuir de forma significativa na facilitação da aprendizagem e na integração da teoria de controle com a prática a ser desenvolvida no setor Aeroespacial.

A utilização de dispositivos compatíveis com o sistema Android apresenta vantagens do ponto de vista motivacional para os alunos, pois a grande maioria possui aparelhos smartphones e/ou tablets e estão totalmente familiarizados com a sua utilização. Além disso, os aplicativos possuem menor necessidade de processamento e possibilitam maior interatividade entre usuário e conteúdo, o que contribui significativamente para o aprendizado. Diversos autores têm estudado e implementado soluções educacionais através de aplicativos, tanto na área de controle (ARRIETA et. al., 2015; BENAVIDES et. al., 2013), quanto em diversas áreas da engenharia, como auxiliares ao processo de ensino-aprendizagem tanto da teoria quanto das práticas de laboratório. (KHALID et. al., 2019; TURKAN et. al., 2017) Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um aplicativo



implementado em plataforma Android com conteúdo teórico, exemplos aplicados à Engenharia Aeroespacial e interatividade. A ferramenta apresenta teoria de controle relacionada à análise da resposta transitória de sistemas de primeira e segunda ordens, os efeitos das ações de controle proporcional, integral e derivativo e o controle PID (OGATA, 2010; NISE, 2017; DORF, 2018). Para cada assunto abordado, há exemplos ilustrativos contextualizados para a área de Engenharia Aeroespacial e conteúdo interativo que permite ao usuário modificar parâmetros e observar o comportamento do sistema estudado. (SAMPAIO, FAZZOLARI, 2022)

2 SISTEMAS DE CONTROLE

Um sistema de controle consiste em subsistemas e processos construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada com um desempenho desejado, dada uma entrada especificada (NISE, 2017). Diversos sistemas hoje podem ser controlados, tais como braços robóticos, movimentação e controle de trajetória de cargas pesadas, como por exemplo o lançamento de equipamentos espaciais e voos de aeronaves.

Um sistema de controle com realimentação tende a manter uma relação predeterminada entre duas variáveis do sistema por meio da comparação de funções dessas variáveis e usando a diferença como um meio de controle. Com um sensor exato, a saída medida é uma boa aproximação da saída real do sistema.

As subseções a seguir apresentam conceitos fundamentais para o projeto de sistemas de controle com realimentação.

2.1 Análise da resposta transitória de sistemas de primeira e segunda ordem

Sistemas de primeira e segunda ordem são aproximações válidas para a maior parte dos sistemas de controle e o seu comportamento dinâmico é de grande interesse. Há três tipos de entradas principais que podem ser aplicadas a um sistema para que se obtenha a resposta na saída: impulso unitário, degrau unitário e rampa unitária. Estas funções simulam satisfatoriamente as situações mais comuns que ocorrem na prática. (CARVALHO, 2000)

Sistemas de primeira ordem

Estes sistemas são descritos por equações diferenciais lineares na forma

$$\tau \frac{dy}{dt} + y = Ku; \quad \text{ou} \quad \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{(\tau s + 1)} \quad (1)$$

onde τ é a constante de tempo do sistema.

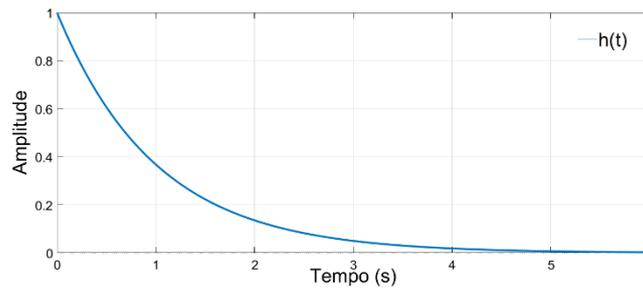
Quando submetido a uma entrada impulso unitário, a resposta do sistema é

$$y(t) = \frac{K}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

A Figura 1 apresenta a resposta do sistema à entrada impulso unitário.

Figura 1 – Resposta ao Impulso Unitário – Sistema de Primeira Ordem





Fonte: Autor.

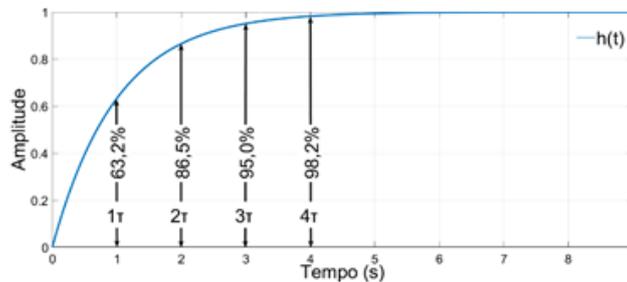
Pode-se notar a descontinuidade da resposta no instante $t = 0$. Esta é uma característica dos sistemas de primeira ordem.

Quando submetido a uma entrada degrau unitário, a saída é dada por

$$Y(s) = \frac{K}{s(\tau s + 1)}; \quad \text{ou} \quad y(t) = K(1 - e^{-t/\tau}) \quad (3)$$

É possível observar que, depois de um tempo igual à constante de tempo, isto é, $t = \tau$, a resposta é 0,632 do seu valor final; depois de quatro constantes de tempo, $t = 4\tau$, a resposta é 0,982K. Normalmente considera-se que o estado estacionário tenha sido atingido quando a resposta permanece dentro de um intervalo de $\pm 1,8\%$ do seu valor final. Esse instante é chamado tempo de assentamento ou tempo de estabilização. A Figura 2 apresenta a resposta do sistema à entrada degrau unitário.

Figura 2 – Resposta ao Degrau Unitário – Sistema de Primeira Ordem

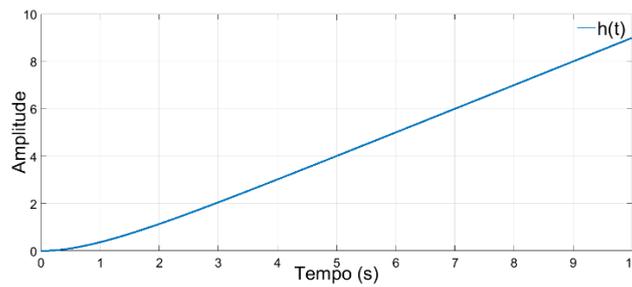


Fonte: Autor.

Quando submetido à uma entrada rampa unitária, a resposta temporal do sistema é dada pela Equação (4). A Figura 3 mostra a resposta do sistema à resposta à rampa.

$$y(t) = K(t - \tau + \tau e^{-t/\tau}) \quad (4)$$

Figura 3 – Resposta à Rampa Unitária – Sistema de Primeira Ordem



Fonte: Autor.

Quando $t \rightarrow \infty$, a resposta se aproxima de uma reta ($y = Kt$) a uma distância igual a $K\tau$. Quanto menor a constante de tempo τ , mais rápida é a convergência.

Sistemas de segunda ordem

Um sistema de segunda ordem comumente é representado através de uma função de transferência na forma padrão que pode ser vista na Equação (5).

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (5)$$

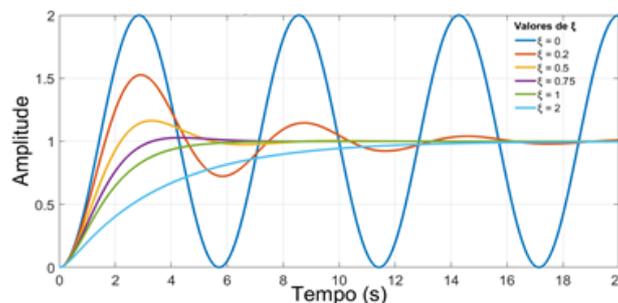
onde ξ é o coeficiente de amortecimento e ω_n , a frequência natural do sistema. O sistema de segunda ordem possui resposta temporal distinta dependendo do valor de ξ , sendo classificado em: sistema subamortecido, para $0 \leq \xi < 1$, criticamente amortecido para $\xi = 1$, ou superamortecido quando $\xi > 1$. A resposta do sistema de segunda ordem na forma padrão à entrada degrau unitário está representada nas Equações (6), (7) e (8). A Figura 4 ilustra estas respostas.

$$y(t) = 1 - \frac{e^{-\xi\omega_n t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \text{sen}(\sqrt{1-\xi^2}\omega_n t + \xi); \quad \text{para } 0 \leq \xi < 1 \quad (6)$$

$$y(t) = 1 - e^{-\omega_n t}(1 + \omega_n t); \quad \text{para } \xi = 1 \quad (7)$$

$$y(t) = 1 + \frac{1}{2\sqrt{\xi^2-1}} \left[\frac{e^{-(\xi+\sqrt{\xi^2-1})\omega_n t}}{\xi+\sqrt{\xi^2-1}} - \frac{e^{-(\xi-\sqrt{\xi^2-1})\omega_n t}}{\xi-\sqrt{\xi^2-1}} \right]; \quad \text{para } \xi > 1 \quad (8)$$

Figura 4 – Resposta ao degrau unitário do sistema de segunda ordem na forma padrão para valores de $0 \leq \xi \leq 2$



Fonte: Autor.

A Figura 4 mostra dois tipos de comportamentos; uma resposta oscilatória para $\xi < 1$ e uma resposta amortecida para $\xi \geq 1$. A partir da análise da resposta oscilatória é possível obter informações importantes sobre o comportamento do sistema, denominadas medidas de desempenho padrão. A velocidade da resposta é medida pelo tempo de subida (t_r) e pelo tempo ou instante de pico (t_p). A similaridade com a qual a resposta real se aproxima da entrada em degrau é medida pelo máximo sobressinal percentual (M_p) e pelo tempo de acomodação (t_s). O máximo sobressinal percentual é definido como

$$M_p = \frac{\text{valor de pico} - \text{valor final}}{\text{valor final}} \times 100\% \quad (9)$$

O tempo de acomodação (t_s) é definido como o tempo necessário para o sistema estabelecer-se dentro de uma dada porcentagem δ da amplitude de entrada:

$$t_s = 4\tau = \frac{4}{\xi\omega_n} \quad (10)$$

O tempo de pico pode ser obtido da Equação (11).

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} \quad (11)$$

Sendo assim, é possível obter o valor de pico da resposta, e, portanto, o máximo sobressinal pode ser obtido pela Equação (12).

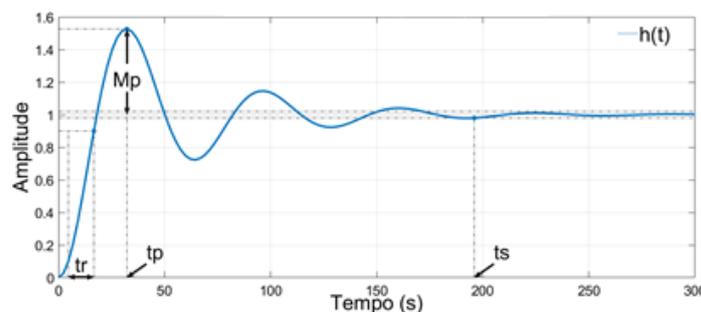
$$M_p = 100e^{\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \quad (12)$$

O tempo de subida pode ser definido como o tempo necessário para que a resposta passe de 10% a 90% do valor final. Ele pode ser obtido através de uma aproximação linear, descrita pela Equação (13), que é exata para $0,3 \leq \xi \leq 0,8$.

$$t_r = \frac{2,16\xi + 0,60}{\omega_n} \quad (13)$$

A Figura 5 ilustra os parâmetros definidos nas Equações (10), (11), (12) e (13).

Figura 5 – Medidas de desempenho para um sistema de segunda ordem na forma padrão.



Fonte: Autor.

Sistemas de ordem superior podem ser analisados considerando-se o comportamento dos polos dominantes do sistema, de tal forma que possam ser utilizados os parâmetros estabelecidos para sistemas de segunda ordem, de forma aproximada.

2.2 Estabilidade em sistemas de controle

A análise e o controle de sistemas dinâmicos requerem o conhecimento sobre sua estabilidade. Em malha aberta, muitos sistemas são instáveis ou até são projetados para serem instáveis, porém a estabilidade é um critério fundamental para sistemas controlados em malha fechada. Um sistema estável possui uma saída limitada dada uma entrada limitada. Uma maneira de verificar esta propriedade é o *critério de estabilidade de Routh-Hurwitz*. Para mais detalhes, recomenda-se consultar (OGATA, 2010; NISE, 2017; DORF, 2018).

2.3 Controladores

Um controlador automático compara o sinal de saída do processo com um valor desejado, determina o erro e produz um sinal de controle cujo objetivo é minimizar o erro a um valor nulo ou muito pequeno. A ação de controle é a maneira pela qual o controlador executa a ação de minimização do desvio, ou erro. As ações de controle mais comumente utilizadas são apresentadas a seguir.

Ação de Controle Proporcional

Neste controlador, a saída $c(t)$ e o sinal de erro atuante $e(t)$ possuem uma relação proporcional entre si, ou seja, $c(t) = K_p e(t)$. O controlador proporcional é basicamente um amplificador com um ganho ajustável.

Ação de controle Integral

O valor da saída do controlador $c(t)$ varia em uma taxa proporcional ao sinal do erro atuante $e(t)$, ou seja, $\frac{dc(t)}{dt} = K_i e(t)$; ou $c(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$.

Se o valor de $e(t)$ dobra, o valor de $c(t)$ varia duas vezes mais rápido. Se o erro atuante é nulo, o valor de $c(t)$ é constante.

É possível combinar as ações de controle proporcional e integral, resultando em

$$c(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt; \quad \text{ou} \quad \frac{C(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (14)$$

Nas Equações (14), K_p é a sensibilidade proporcional e sua variação influencia tanto na ação proporcional quanto na ação integral e T_i representa o tempo integral e só atua na porção integral do controle.

Ação de controle Proporcional-Derivativa

A ação de controle proporcional-derivativa é definida por $c(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$, ou $\frac{C(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s)$. K_p representa a sensibilidade proporcional e atua em ambas as parcelas do controlador. T_d é o valor de tempo derivativo. A ação de controle derivativa tem um caráter antecipatório, o que garante resposta rápida na diminuição do desvio, porém também pode amplificar os sinais de ruído e levar à saturação do atuador. Esta ação de controle não pode ser utilizada sozinha, pois só é efetiva durante os transitórios.

Ação de Controle Proporcional-Integral-Derivativa

Esta ação de controle combina as vantagens de cada uma das ações separadas e é definida como $c(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$; ou $\frac{C(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right)$.

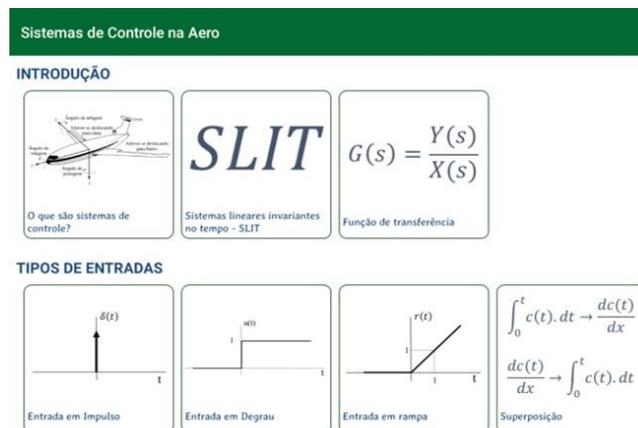
Possui caráter antecipatório devido à ação derivativa e também anulação do erro de regime devido à ação integral. Para mais detalhes sobre o projeto e análise de controladores proporcionais, proporcionais-derivativos, proporcionais-integrais e proporcionais-integrais-derivativos, consultar (OGATA, 2010; NISE, 2017; DORF, 2018).

3 APLICATIVO SCEA (SISTEMAS DE CONTROLE NA AERO)

O aplicativo SCEA está sendo desenvolvido para auxiliar no processo de aprendizagem do conteúdo apresentado na Seção 2. Os objetivos principais no desenvolvimento da ferramenta são: auxiliar os alunos de engenharia, com foco nos alunos de engenharia Aeroespacial e áreas afins na aprendizagem de parte fundamental da teoria de controle; servir como ferramenta auxiliar para os professores da área de controle no desenvolvimento de aulas tanto presenciais quanto remotas; motivar os alunos através de exemplos relacionados diretamente à Engenharia Aeroespacial, relacionando o conteúdo abordado com exemplos de projetos da área e através de ferramentas interativas.

O aplicativo foi dividido por assuntos em grau de dificuldade crescente, para que o usuário possa navegar nas páginas em uma ordem que se aproxima dos principais livros didáticos. A Figura 6 apresenta uma parte da tela inicial do aplicativo.

Figura 6 – Página inicial do aplicativo



Fonte: Autor.

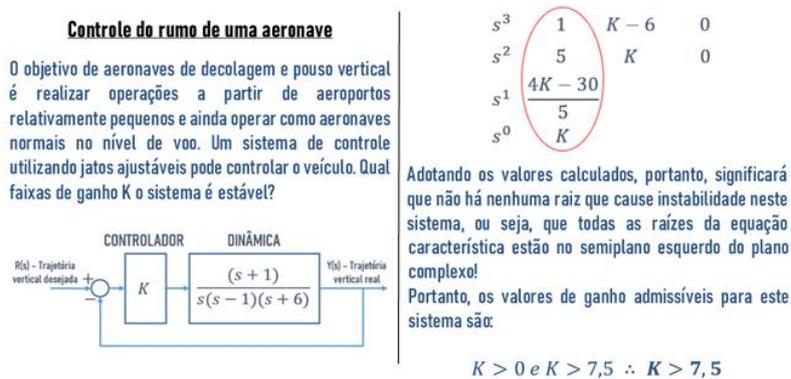
A metodologia de divisão do conteúdo em blocos foi realizada para que o acesso possa ser feito de forma aleatória a qualquer conteúdo disponível, facilitando sua utilização na sala de aula ou em estudos individuais.

Com o auxílio da plataforma Android Studio (ANDROID, 2021), foi criada e desenvolvida a interface modular contendo informações resumidas sobre os assuntos abordados seguidas de exemplos resolvidos e interativos aplicados à engenharia Aeroespacial. A principal ferramenta de interatividade na facilitação do processo de ensino-aprendizagem é a possibilidade de observar diferentes comportamentos dos sistemas estudados com base em alterações de parâmetros fundamentais, interagindo com as soluções dos exercícios sem a necessidade de se programar ou simular estes exemplos em softwares de simulação, verificando diferentes soluções de acordo com a alteração dos

principais parâmetros de interesse, a depender da seção estudada. Como por exemplo, a alteração da constante de tempo τ de um sistema de primeira ordem, de forma a observar qual a mudança de comportamento do sistema com o aumento ou diminuição deste parâmetro. O aplicativo contém ainda algumas observações e explicações adicionais que permitem ao aluno realizar a correspondência entre a teoria e o exemplo interativo apresentado, com uma linguagem acessível, servindo também como complemento do livro texto e dos conceitos teóricos apresentados em aula.

Os exemplos alocados em cada assunto formam um compilado de exercícios resolvidos passo a passo e foram retirados de livros de referência amplamente utilizados em cursos de Sistemas de Controle. A Figura 7 mostra uma parte de um exercício resolvido:

Figura 7 – Exercício resolvido de estabilidade disponível no aplicativo



Fonte: Autor.

O exemplo mostrado na Figura 7 solicita que o aluno encontre qual a faixa de ganhos K em que o controle de rumo de uma aeronave seja estável, utilizando o Critério de Estabilidade de Routh-Hurwitz (subseção 2.2). Os valores de ganho podem ser modificados para observar o comportamento do sistema para cada faixa de ganho, de forma a observar para quais valores o sistema é estável, criticamente estável, atingindo o limiar da estabilidade ou instável. A Figura 8 mostra a interatividade do exemplo.

Figura 8 – Gráficos de resposta do Controle de Rumo



Fonte: Autor.

Observando o primeiro gráfico da Figura 8, nota-se que o sistema é instável. O segundo gráfico ilustra um sistema criticamente estável e o terceiro mostra a estabilidade

assintótica. Esta ferramenta possibilita ao usuário uma rápida visualização do comportamento do sistema sem que haja necessidade de utilizar um software de simulação ou realizar algum tipo de programação.

Outro exemplo é o cálculo das medidas de desempenho padrão do sistema de segunda ordem (subseção 2.1.2), que corresponde ao sistema de controle do profundor de uma aeronave, com a análise para diferentes entradas, permitindo a variação do coeficiente de amortecimento e da frequência natural do sistema. As Figuras 9 e 10 ilustram este exemplo.

Figura 9 – Início do exercício de medidas de desempenho padrão

Profundor de aeronaves

O profundor ou *elevator* (em inglês) é uma superfície aerodinâmica de controle de voo usada em aeronaves de asa fixa para permitir ao piloto em comando o seu controle horizontal. Ele é uma peça móvel fixada no estabilizador horizontal do avião, usada para controlar a atitude do avião em relação ao horizonte. Ele está localizado na extremidade traseira da empenagem ou cauda dos aviões, responsável pelo movimento do avião sobre seu eixo lateral, aumentando ou diminuindo o ângulo de ataque da aeronave.

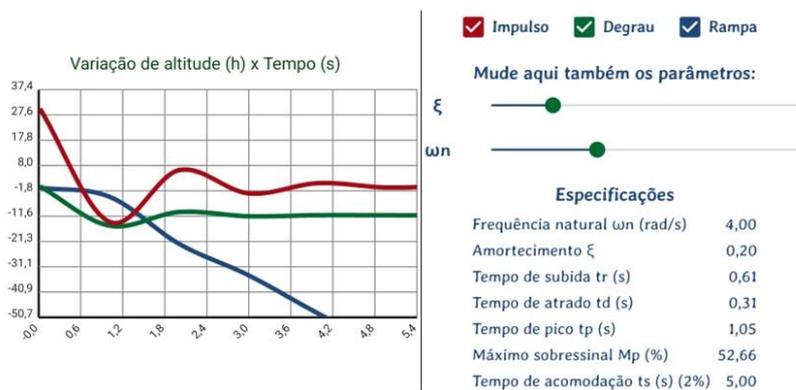
$$H(s) = \frac{h(s)}{\delta_e(s)} = \frac{30 \cdot (s - 6)}{s^2 + 4 \cdot s + 13}$$

É possível comparar esta função de transferência com a forma padrão e assim obter informações do desempenho do sistema em função do tempo:

$$\frac{30 \cdot (s - 6)}{s^2 + 4 \cdot s + 13} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2 \cdot \xi \cdot \omega_n \cdot s + \omega_n^2}$$

Fonte: Autor.

Figura 10 – Respostas Interativas



Fonte: Autor.

Os gráficos interativos foram implementados a partir do cálculo da resposta temporal do sistema em função dos parâmetros que serão alterados pelo usuário. Desta forma, os gráficos são modificados de maneira contínua e não há necessidade de grande processamento, possibilitando que celulares de diversos modelos estejam aptos ao aplicativo.

Por exemplo, o controle de velocidade de cruzeiro simplificado de uma aeronave pode ser descrito por um sistema de primeira ordem, desenvolvido a partir das equações de Newton, conforme as páginas do aplicativo mostradas na Figura 11.

Figura 11 – Sistema de controle simplificado da velocidade de cruzeiro de uma aeronave

Utilizando, agora, a Transformada de Laplace e comparando com a forma padrão da função de transferência apresentada anteriormente:

$$s.V(s) + \frac{b}{m}.V(s) = \frac{U(s)}{m}$$

$$V(s). \left(s + \frac{b}{m} \right) = \frac{U(s)}{m}$$

$$H(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{\frac{1}{m}}{s + \frac{b}{m}}$$

Fonte: Autor.

A partir da definição mostrada na subseção 2.1, a constante de tempo deste sistema será a massa da aeronave. O usuário pode alterar a massa e observar os diferentes comportamentos de acordo com a mudança, como mostra a Figura 12. É importante observar que as possíveis soluções para os diferentes valores de τ disponíveis para seleção já estão previamente calculadas. Desta forma, a interação se dá através da visualização das diversas soluções possíveis para o problema.

Figura 12 – Mudança do transitório devido à alteração da constante de tempo



Fonte: Autor.

3.1 Demais funcionalidades

Outras funcionalidades foram adicionadas ao aplicativo com o intuito de conhecer o público alvo e avaliar se os objetivos propostos estão sendo atingidos. À princípio, o uso do aplicativo é condicionado a um cadastro do aluno com seu nome e um e-mail válido. Este processo nos auxilia a realizar a contagem de usuários cadastrados ativos e não ativos, ou seja, o número total usuários que já realizaram o download e que de alguma forma chegaram ao aplicativo. Também foi implementada uma pesquisa de satisfação via formulário para que toda a experiência do usuário seja transformada em números, além de fornecer os dados dos perfis dos usuários e quais suas intenções, assim como a amplitude do público alvo atingido.

Para manter o engajamento dos alunos e incentivar a leitura e o estudo, foi programado o envio automático de notificações do tipo *push* que são enviadas em períodos controlados com mensagens indicando assuntos para leitura, curiosidades da área e lembretes para a realização da avaliação do aplicativo.

4 Considerações FINAIS

O aplicativo desenvolvido mostra um grande potencial em auxiliar no processo de ensino e aprendizagem nos cursos de Engenharia, em especial, Engenharia Aeroespacial auxiliando a visualização do comportamento de sistemas reais de uma maneira mais ágil e simples, facilmente disponível em qualquer ambiente e sem a necessidade de utilização de softwares de simulação que exigem computadores com maior processamento, bem como sem necessidade de realizar qualquer tipo de programação. Os exemplos aplicados à área de Engenharia Aeroespacial tornam o aprendizado mais conectado à realidade de trabalho do aluno. A facilidade de utilização e interação do aplicativo contribui de forma significativa para a integração do aluno com o conteúdo apresentado, aumentando a motivação e facilitando o aprendizado, auxiliando também o professor durante o processo de ensino, uma vez que os diferentes parâmetros que podem ser alterados de forma simples e direta nos exemplos interativos levam ao aprofundamento da discussão das soluções.

As próximas etapas da pesquisa envolvem a inclusão de mais assuntos e exemplos interativos aplicados, seções de perguntas e respostas para que o usuário possa testar seus conhecimentos acerca dos temas abordados e o levantamento de informações sobre a utilização do aplicativo dentro da comunidade acadêmica da UFABC, de forma a realizar aprimoramentos e correções de possíveis problemas.

REFERÊNCIAS

ANDROID. **Google Android**, 2021. Disponível em: <www.android.com>. Acesso em: 19/05/2021. <https://www.android.com/>.

ÅSTRÖM, K., HÄGGLUND, T. (2001). The future of PID control. **Control Engineering Practice**, 9, 1163–1175.

ÅSTRÖM, K., HÄGGLUND, T. (2006). Advanced PID Control. ISA - **The Instrumentation, Systems and Automation Society**.

CARVALHO, J. L. Martins D. **Sistemas de Controle Automático**. Grupo GEN, 2000. 978-85-216-2354-0. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2354-0/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

CONCHA, A, LUVIANO-CRUZ, D, CALDERON, G, GADI, SK. Control and Identification Toolbox (CIT): An Android application for teaching automatic control and system identification. **Comput Appl Eng Educ**. 2019; 27: 1186– 1201. <https://doi.org/10.1002/cae.22145>.

DORF, Richard C., BISHOP, Robert H. **Sistemas de Controle Modernos**, 13ª edição. Grupo GEN, 2018.

KELLY, R., MORENO, J. (2001). Learning PID structures in an introductory course of automatic control. **IEEE Transactions on Education**, 44(4), 373–376.



LEVA, A. (2006). A simple and flexible experimental laboratory for automatic control courses. **Control Engineering Practice**, 4, 167–176.

NISE, Norman S. Engenharia de Sistemas de Controle, 7ª edição. Grupo GEN, 2017.

O. Arrieta, S. Wu, R. Vilanova, J.D. Rojas, L. Yu, Development of a Mobile Application for Robust Tuning of One- and Two-Degree-of-Freedom PI and PID Controllers, **IFAC-PapersOnLine**, Volume 48, Issue 29, 2015, Pages 76-81, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.216>.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5ª edição, 2010, Pearson Universidades.

SAMPAIO, Luan Felipe; FAZZOLARI, Heloise Assis. **SCEA: Sistemas de Controle da AERO**. V1. Local: UFABC, 2022.

S. Khalid, M. Hamid, S. Hanane, Z. Abdelhak. (2019). Development of a Mobile Application for Teaching Transmission Line Theory. **International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)**. 13. 78. 10.3991/ijim.v13i02.10000.

TAHBOUB, K. (2011). Suitability of PID Controllers for Unstable Processes: Na Issue to Be Tackled in Undergraduate Control Education. In 19th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation (MED2012). June 20-23, Corfu, Greece.

Y. Benavides, V.M. Alfaro, O. Arrieta, R. Vilanova, Interactive Software Tool for Robust Tuning of One- and Two-Degree-of-Freedom PI and PID Controllers, IFAC Proceedings Volumes, Volume 46, Issue 17, 2013, Pages 13-18, ISSN 1474-6670, ISBN 9783902823434, <https://doi.org/10.3182/20130828-3-UK-2039.00004>.

Y. Turkan, R. Radkowski, A. Karabulut-Ilgu, A. H. Behzadan, A. Chen, Mobile augmented reality for teaching structural analysis, **Advanced Engineering Informatics**, Volume 34, 2017, Pages 90-100, ISSN 1474-0346, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.09.005>.

DEVELOPMENT OF AUXILIARY APPLICATION IN THE TEACHING OF CONTROL SYSTEMS APPLIED TO AEROSPACE ENGINEERING

Abstract: *The present work shows the development of an auxiliary application for engineering education, with aerospace engineering, both in remote classes and in face-to-face teaching, with fundamental content related to control systems, examples applicable to the area of aerospace engineering, interactivity and features that help in the student's learning process and motivation. The application has shown promise as an aid to teaching, both for students and professors in the area.*

Keywords: *Engineering Teaching, Interactivity, Applied Problems, Mobile App, Aerospace Engineering Teaching.*

