

# Plataforma Educacional para Simulação de Circuitos Dinâmicos

Celso Vinícius S. Fernandes<sup>1</sup>, Pedro Henrique P. Dias<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)  
Divinópolis – MG – Brasil

<sup>2</sup>Bacharelado em Engenharia de Computação

celso.23@aluno.cefetmg.br, pedro.dias@aluno.cefetmg.br

**Resumo.** *Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um website educacional interativo para simulação de circuitos dinâmicos, utilizando tecnologias web modernas como HTML, CSS e JavaScript. A plataforma permite aos usuários inserir valores de resistência, capacitância, condição inicial, escolher a organização do circuito e simular seu comportamento, gerando gráficos de degrau, diagrama de Bode e Lugar Geométrico das Raízes. Destinado a estudantes e entusiastas, a aplicação web pode facilitar a visualização e compreensão dos conceitos de controle de sistemas dinâmicos, e se destaca como uma ferramenta promissora para o ensino e aprendizado em cursos de Engenharia de Computação.*

## 1. Introdução

As disciplinas que abordam a modelagem de circuitos elétricos são uma parte integral da estrutura curricular em Engenharia de Computação. A modelagem desses circuitos exige conhecimentos profundos em cálculo e eletromagnetismo. Diante dos desafios enfrentados por esses estudantes na assimilação de conceitos de circuitos dinâmicos, surge a motivação para este trabalho, o desenvolvimento de uma plataforma web interativa de simulação. A justificativa para tal iniciativa decorre da necessidade identificada na literatura, que aponta para uma carência de ferramentas didáticas que aliem teoria à prática, enfatizando a importância de recursos educacionais que proporcionem uma aprendizagem mais engajadora [Marques and Gonçalves 2021].

Os resultados alcançados apresentam probabilidade para indicar um avanço significativo na forma como os conceitos são apreendidos pelos estudantes. Para tanto, este projeto está estruturado em 5 seções. A Seção 2 discute o problema e a relevância do estudo, seguida pela Seção 3 que detalha a metodologia empregada. Ademais, a Seção 4 analisa os resultados obtidos e discorre sobre eles. Por fim, a Seção 5 conclui o trabalho, apontando direções futuras de pesquisa e reiterando a contribuição deste estudo para o ensino de Engenharia de Computação.

## 2. Referencial Teórico

Este referencial teórico sintetiza os conceitos-chave necessários para a compreensão e manipulação de sistemas eletrônicos, enfocando a aplicabilidade em circuitos elétricos e controle. Discute-se os preceitos primordiais que direcionam o funcionamento dos circuitos elétricos, com ênfase nos circuitos RC, e sua resposta a variações de entrada,

exploradas através da função degrau. Métodos de análise e projeto de controle, como o Diagrama de Bode e o LGR, também serão abordados, sublinhando sua relevância para garantir estabilidade e desempenho adequados.

## **2.1. Circuitos Elétricos**

Circuitos elétricos constituem a “espinha dorsal” dos sistemas eletrônicos e de controle. São sistemas que permitem a transferência e a manipulação de energia elétrica por meio de componentes interconectados, como resistores, capacitores e indutores.

### **2.1.1. Circuitos RC**

Utilizam-se os circuitos RC, compostos por resistores e capacitores, em diversas aplicações como filtros e temporizadores. Nestes circuitos, a tensão no capacitor varia exponencialmente, um processo descrito pela constante de tempo  $\tau$ . Indica-se esta constante como crucial, pois aponta o tempo necessário para o capacitor carregar ou descarregar até uma porcentagem específica de sua tensão ou carga total. A análise desses circuitos varia conforme sua configuração, seja em série ou em paralelo.

## **2.2. Função Degrau**

Usa-se a função degrau como entrada de teste para avaliar a resposta do sistema. Essa função simula uma mudança abrupta de tensão ou corrente de um valor constante para outro, tipicamente de zero para um valor fixo. Observar como um sistema responde a essa função é fundamental para compreender sua reação a alterações e para projetar sistemas capazes de estabilizar-se rapidamente após perturbações.

## **2.3. Diagrama de Bode**

O Diagrama de Bode é um método gráfico usado para analisar a resposta em frequência de sistemas lineares e invariantes no tempo. Essencial para projetar sistemas de controle e comunicação, ajuda os engenheiros a prever a reação do sistema a diferentes frequências de entrada. O diagrama divide-se em duas partes: um gráfico de magnitude, mostrando a atenuação ou amplificação do sinal em decibéis em função da frequência, e um gráfico de fase, indicando a mudança de fase entre entrada e saída.

## **2.4. Lugar Geométrico das Raízes (LGR)**

O Lugar Geométrico das Raízes é um método gráfico que facilita a visualização de como os polos de um sistema de controle mudam com a variação de seus parâmetros, sendo crucial para assegurar a estabilidade e a resposta dinâmica adequada. Esta técnica é especialmente valiosa no projeto de controladores, permitindo ajustes nos parâmetros do sistema para obter a resposta desejada.

## **3. Metodologia**

A aplicação combina uma interface simplificada que facilita o entendimento teórico-prático, permitindo experimentação com campos de entrada para resistência, capacitância e condição inicial, além de opções visuais para escolher entre seis configurações de circuitos, iniciando simulações e gerando gráficos. Ademais, seu design responsivo garante

compatibilidade com diversos dispositivos. Utilizou-se uma paleta de cores com azul para segurança e clareza, e incluiu-se protótipos para melhor disposição dos elementos, mantendo uma identidade visual consistente através de um logotipo original. Desse modo, mediu-se o sucesso do projeto pela implementação efetiva dessas funcionalidades e pela precisão e clareza das visualizações gráficas, que devem apoiar o aprendizado em Controle de Sistemas Dinâmicos.

### 3.1. Levantamento de Requisitos

Na fase de levantamento de requisitos, decidiu-se que a aplicação web deveria permitir aos usuários inserir dados e configurar circuitos RC para criar gráficos específicos, com ênfase em funcionalidade e eficiência. A validação dos requisitos foi feita comparando com padrões de *softwares* de renome, como o MATLAB[MathWorks 2023]. A documentação do desenvolvimento, incluindo um histórico detalhado de *commits* para cada funcionalidade, foi feita no GitHub[Microsoft 2023], e a estética, embora fora avaliada um requisito não-essencial, também recebeu atenção.

### 3.2. Seleção de Tecnologias

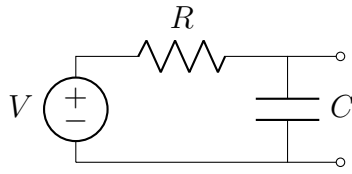
Para desenvolver a plataforma com base nos requisitos levantados, optou-se por tecnologias que garantem compatibilidade e facilidade de uso: HTML5 para estruturação de conteúdo, CSS3 para estilização e design responsivo, e JavaScript(ES6) pela sua versatilidade em interatividade. Incorporou-se também a biblioteca “Chart.js” para gráficos dinâmicos e “Math.min.js” para operações matemáticas complexas, facilitando o desenvolvimento da simulação de circuitos. Desenvolveu-se o projeto na plataforma Visual Studio Code em busca de garantir uma codificação eficiente e organizada. Realizou-se o *deploy* com o Vercel[Vercel 2023], assegurando hospedagem otimizada e acessível.

### 3.3. Escolha e Implementação dos Circuitos

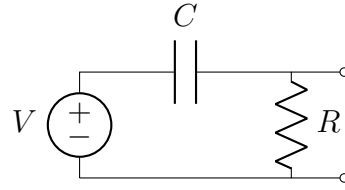
Incluiu-se na plataforma seis variantes de circuitos RC, em arranjos em série e paralelo, adequados para contextos educacionais e práticos de Engenharia de Computação. Utilizou-se algoritmos em JavaScript com a biblioteca ‘Math.min.js’ para efetuar os cálculos matemáticos necessários nas simulações dos circuitos.

#### 3.3.1. Circuitos 1 e 2

O Circuito apresentado na Figura 1, um clássico arranjo RC em série, é essencial para compreender circuitos de primeira ordem, com sua função de transferência  $H(s) = \frac{V_C(s)}{V_F(s)} = \frac{1}{RCs+1}$  descrevendo a relação entre a tensão de saída no capacitor e a tensão de entrada da fonte. Em contrapartida, a configuração CR em série do Circuito exibido na Figura 2 inverte a ordem do resistor e do capacitor da primeira organização. Este arranjo é instrutivo para entender a resposta de sistemas com características de filtros passa-alta, evidenciada pela função de transferência  $H(s) = \frac{V_R}{V_F} = \frac{1}{1+CRs}$ .



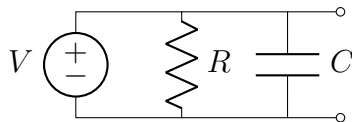
**Figura 1. Circuito 1 – RC em série clássico, com um resistor (R) e um capacitor (C) conectados em série a uma fonte de tensão (V).**



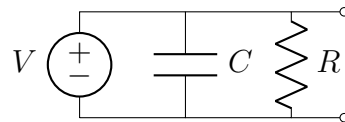
**Figura 2. Circuito 2 – CR em série, com um capacitor (C) ligado diretamente à fonte de tensão (V) e um resistor (R) na saída.**

### 3.3.2. Circuitos 3 e 4

O arranjo RC em paralelo do circuito da Figura 3 oferece discernimento sobre as propriedades de carga e descarga do capacitor, essencial para estudos de transientes e estabilidade, com sua função de transferência  $H(s) = \frac{V_C}{V_F} = 1$  ilustrando a relação entre a tensão no capacitor e a tensão de entrada. Por outro lado, a variação do circuito anterior, mostrada na Figura 4, exibe a posição do resistor e do capacitor invertida, que serve como um exemplo para entender o impacto da ordem dos componentes nas características do filtro passa-baixa, como é evidenciado pela função de transferência  $H(s) = \frac{V_R}{V_F} = 1$ , que descreve a relação entre a tensão no resistor e a tensão de entrada.



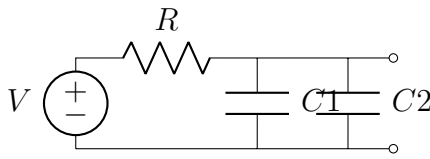
**Figura 3. Circuito 3 – RC com resistor (R) e capacitor (C) em paralelo, conectados à fonte de tensão (V).**



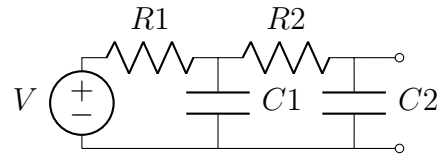
**Figura 4. Circuito 4 – CR com capacitor (C) e resistor (R) em paralelo, também ligado a uma fonte de tensão (V).**

### 3.3.3. Circuitos 5 e 6

Partindo do conceito do Circuito da Figura 1, o Circuito da Figura 5 introduz dois capacitores em série, C1 e C2, uma configuração útil para aplicações com constante de tempo ajustável ou em estudos de circuitos acoplados, representado pela função  $\frac{Y}{X} = \frac{V_{C2}}{V_F} = \frac{1}{RC_2(C_1+1)s+1}$ . Já para um cenário mais complexo, o circuito da Figura 6 apresenta a combinação de dois resistores, R1 e R2, e dois capacitores, C1 e C2, numa configuração mista, o que facilita a análise de sistemas de ordem superior, sendo crucial para estudos avançados em dinâmica de sistemas e teoria de controle, como ilustra a função  $\frac{Y}{X} = \frac{V_{C2}}{V_F} = \frac{1}{R_1C_1C_2s^2+C_2(R_1+R_2)s+2}$ .



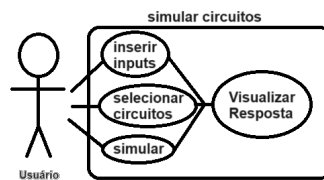
**Figura 5. Circuito 5 – RC com dois capacitores em série (C1 e C2), com o resistor (R) em série com a fonte de tensão (V).**



**Figura 6. Circuito 6 – Contendo dois resistores (R1 e R2) em série e dois capacitores (C1 e C2) em paralelo após o segundo resistor.**

### 3.4. Diagrama de Casos de Uso

Apresenta-se na Figura 7 a relação entre atores, seus casos de uso no sistema e as funcionalidades fornecidas aos usuários.



**Figura 7. Diagrama de Casos de Uso da aplicação.**

### 3.5. Testes e Validação

Conduziu-se a fase de testes e validação da plataforma de forma prática e detalhada, iniciando-se com testes das funcionalidades básicas pelos desenvolvedores, seguidos de simulações para verificar a integridade e precisão da aplicação. Posteriormente, validou-se os gráficos gerados comparando-os com padrões de softwares de simulação de circuitos renomados, como o MATLAB[MathWorks 2023], relevando-se similaridades nas simulações e identificando áreas para refinamento nos algoritmos de simulação.

## 4. Resultados e Discussão

Os resultados alcançados refletem a confluência entre a necessidade identificada na seção de contextualização e a aplicação prática das estratégias delineadas na metodologia. A plataforma foi desenvolvida e testada em uma máquina com capacidade de processamento adequada, detalhada nas parametrizações do sistema, assegurando que as simulações fossem executadas sem atrasos, mantendo a integridade e a confiabilidade dos dados.

### 4.1. Modelo e Reprodução

A fim de atestar a transparência e a reprodutibilidade dos resultados apresentados neste estudo, todo o código-fonte e a documentação detalhada deste estudo estão disponíveis em um repositório GitHub público. O diretório "src/" contém os scripts HTML, CSS e JavaScript usados para a análise, permitindo que outros pesquisadores validem, reproduzam ou expandam a pesquisa. A URL do repositório Git é fornecida na seção de Referências[Vinícius and Dias 2023] deste artigo.

## 4.2. Fluxograma

O fluxo de uso da plataforma segue uma lógica intuitiva, confirmada pelo fluxograma de interação do usuário, ilustrado na Figura 8. Após acessar a plataforma, uma interface clara permite a manipulação dos parâmetros (resistência, capacitância e condição inicial) e seleção de configurações dos circuitos, clicando no botão “Simular” o usuário é levado a uma representação gráfica imediata. Por fim, as telas de simulação exibem os resultados em gráficos de degrau, Bode e LGR, alinhados com as expectativas e oferecendo uma visão tangível das teorias de circuitos.

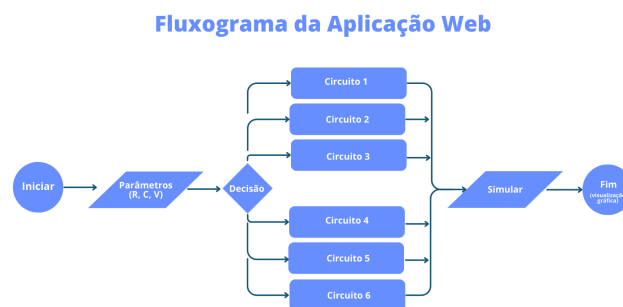


Figura 8. Imagem com o fluxograma sugerido para a aplicação web desenvolvida.

## 4.3. Análise Comparativa

A análise comparativa à frente avalia a precisão da plataforma desenvolvida, apresentando três pares de gráficos, originados do MATLAB (usado como referência pela sua precisão e aceitação acadêmica) e da aplicação web desenvolvida. Ambos simulam os mesmos circuitos sob condições idênticas. Nesse contexto, a Figura 9 compara a resposta em degrau dos circuitos, enquanto a Figura 10 analisa os diagramas de Bode para a resposta em frequência. Destarte, a Figura 11 exibe o Lugar Geométrico das Raízes (LGR), essencial para compreender a estabilidade e resposta dinâmica do sistema.

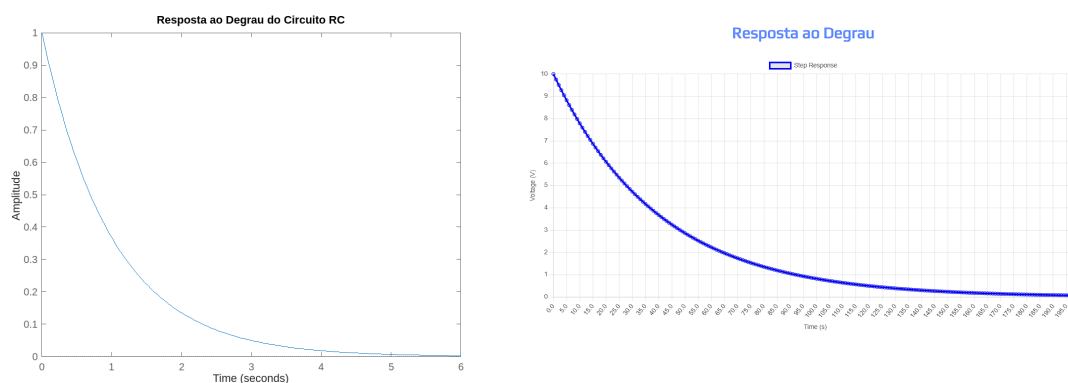
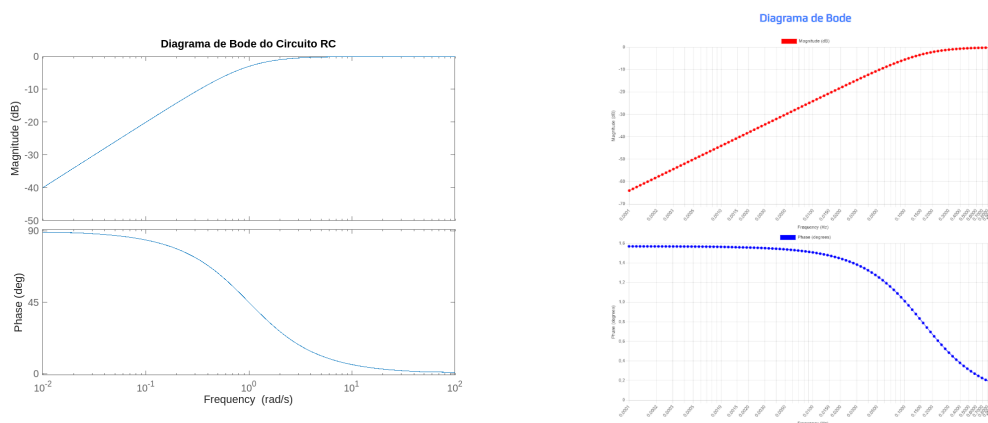
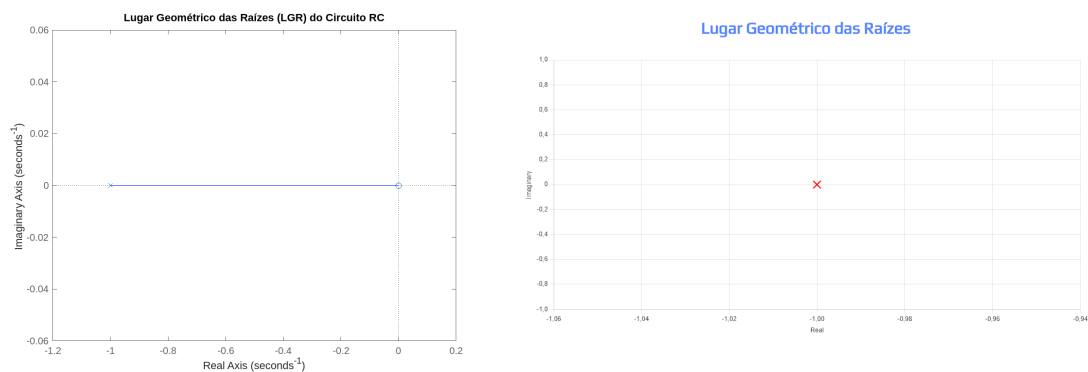


Figura 9. Comparativo da Resposta Degrau gerada pelo MATLAB (esquerda) e pela Aplicação Web (direita).



**Figura 10. Comparativo do Diagrama de Bode formado pelo MATLAB (esquerda) e pela Aplicação Web (direita).**



**Figura 11. Comparativo do LGR originado pelo MATLAB (esquerda) e pela Aplicação Web (direita).**

A partir da análise das figuras, nota-se que a aplicação teve um sucesso moderado na identificação de resultados esperados, considerando variações de escala e perspectivas distintas. Contudo, destaca-se a necessidade de aprimorar a verificação e validação dos cálculos para maior precisão.

## 5. Conclusão

Desse modo, é possível salientar que este estudo alcançou seu objetivo inicial de desenvolver uma aplicação web interativa para a simulação de circuitos, servindo como uma ponte entre o referencial teórico e as abordagens metodológicas empregadas. A aplicação foi capaz de reproduzir resultados consistentes com as hipóteses teóricas, demonstrando sua eficácia como ferramenta de ensino.

No entanto, o estudo apresentou limitações, como a necessidade de uma análise mais aprofundada da precisão dos cálculos em comparação com padrões estabelecidos. Assim, para trabalhos futuros, sugere-se a expansão da aplicação para incluir uma gama mais ampla de simulações de circuitos e a integração de funcionalidades que permitam análises mais complexas, abordando assim as lacunas identificadas neste estudo.

## Referências

- Marques, S. C. and Gonçalves, G. E. (2021). *O ensino e a compreensão de física como ferramenta didática para as simulações em plataformas de ensino*. Appris, Curitiba, 1 edition.
- MathWorks (2023). *MATLAB - Math. Graphics. Programming*. The MathWorks, Inc., Estados Unidos, 1 edition.
- Microsoft (2023). *Social Code Hosting*. Microsoft, Estados Unidos, 1 edition.
- Vercel (2023). *Build and deploy the best Web experiences*. Vercel Inc., Estados Unidos, 1 edition.
- Vinícius, C. and Dias, P. (2023). Modelagem de circuitos dinâmicos. <https://github.com/celzin/Plataforma-Educacional-Circuitos>. Acesso em: 08 dez. 2023.