



GERADOR DE SINAIS DIDÁTICO - PARTE 1 - INTRODUÇÃO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5007

Autores: DANIEL DE ALMEIDA FERNANDES, NATÁLIA DE CARVALHO CORRÊA, MATHEUS DO SACRAMENTO CONSTANTINO

Resumo: As disciplinas de circuitos elétricos de cursos de graduação em engenharia elétrica normalmente são desenvolvidas através de aulas teóricas expositivas dialogadas. Esse método tradicional de ensino não é muito apreciado por uma parte dos discentes, enquanto há muitos deles que apresentam lacunas de conhecimento importantes ao ingressarem no ensino superior. As metodologias ativas e recursos tecnológicos como softwares simuladores são ferramentas eficazes, porém só até certo ponto, para mitigar os desafios enfrentados pelos discentes desses cursos, dado que os discentes a cada dia põem menos a "mão na massa", tanto pela insuficiente exposição à prática durante a graduação quanto por falta de iniciativa própria. Por outro lado, problemas de engenharia são desafiadores porque exigem tipicamente, além do domínio de teorias físicas e matemáticas complicadas e de ferramentas computacionais, também diversos conhecimentos práticos de outras áreas do conhecimento, associados à implementação das soluções obtidas primeiro com o auxílio dos softwares. O presente trabalho apresenta um gerador de sinais didático, seguro e de baixo custo, proposto para auxiliar no processo de ensino/aprendizagem em cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade. Ele foi pensado para ser utilizado durante as aulas teóricas, para enriquecê-las com demonstrações e experimentos práticos envolvendo geradores de tensão independentes ou não vinculados. Ele também permite explorar alguns conceitos matemáticos fundamentais à formação nesses cursos de graduação. Outro trabalho, que sucede e completa este, sugere como explorar os recursos oferecidos pelo gerador de sinais didático.

Palavras-chave: Arduino; Circuitos elétricos; Circuitos eletrônicos; Engenharia elétrica; Gerador de sinais; Meio de ensino/aprendizagem

GERADOR DE SINAIS DIDÁTICO – PARTE 1 – INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Disciplinas de circuitos elétricos de cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade são tipicamente teóricas, com aulas expositivas. Esse método mais tradicional de ensino tem sofrido reiteradas críticas por parte dos discentes, que apresentam lacunas de conhecimento ao ingressarem no ensino superior, notadamente em leitura, interpretação e produção de textos e em matemática, mas não apenas nisso (SEMESG, 2023; REDAÇÃO BRASIL PARALELO, 2022; VELHO; COSTA; GOULART, 2019; SOUZA, 2018). Há casos também de discentes que escolhem mal seus cursos de graduação, talvez, mas não forçosamente, motivados pelo retorno financeiro e a posição profissional e/ou social de relevo que supõem galgar através do futuro exercício da engenharia. Em outros casos, a falta de compromisso com os cursos de graduação por razões variadas, entre elas pela expectativa imediatista de conseguir conquistar o conhecimento fazendo pouco esforço, resultam no desinteresse, na negligência dos estudos, no maior distanciamento das salas de aula, ainda que estejam presentes fisicamente nas aulas — principalmente, mas não exclusivamente, o uso indiscriminado e irresponsável de telefones celulares durante as aulas. Avaliações mais amplas e suas consequências, bem como outras contribuições na discussão destes temas, são apresentadas em Koike (2023); SEMESG (2023); Redação 360 (2022); Velho; Costa; Goulart (2019). Tais fatores, isolados ou não, ocasionam dificuldades extras à aprendizagem e até total desinteresse pelos cursos de graduação, nos piores casos. Torna-se, portanto, indispensável aos docentes reconhecer os desafios da atualidade e buscar encontrar soluções que ajudem a motivar os discentes, e até reverter o quadro de desinteresse de parte deles, e preencher algumas das lacunas de conhecimento que apresentam e que tanto dificultam seu progresso nos cursos de graduação.

As metodologias ativas (FILATRO; CAVALCANTI, 2023; EQUIPE TOTVS, 2022) e os recursos tecnológicos disponíveis são ferramentas eficazes para mitigar, ao menos em parte, os desafios supracitados. Todavia, apesar dos inegáveis benefícios do uso da tecnologia, particularmente das simulações computacionais (FILATRO; CAVALCANTI, 2023; SILVA *et al.*, 2021; GRAHAM, 2018; GUSTAVSSON *et al.*, 2011), a cada dia os discentes colocam menos a “mão na massa”, vinculando-se mais à comodidade e à segurança oferecidas por ferramentas computacionais, que estão mais presentes e populares a cada dia que passa. Alguns dos fatores que podem ser preponderantes nesse processo são: **i)** maiores facilidade e comodidade de acesso e exploração dos recursos oferecidos pelos *softwares*, **ii)** menores custo e responsabilidade de operação associados ao uso de *softwares* — erros cometidos, mesmo os graves, não produzem grandes consequências —, **iii)** maior velocidade de implementação — vastos recursos estão disponíveis para compartilhamento imediato na internet, reduzindo drasticamente o tempo e o esforço de implementação do modelo a ser utilizado —, **iv)** maior previsibilidade e aderência dos resultados gerados àqueles determinados teoricamente e **v)** exposição a riscos físicos praticamente nula. Problemas de engenharia, entretanto, são desafiadores porque exigem, além de conhecimentos teóricos e de como utilizar adequadamente as ferramentas computacionais necessárias a análise, simulação e síntese, também diversos outros conhecimentos práticos de áreas do conhecimento diversas, associados à implementação das soluções obtidas inicialmente através do uso de computadores. Por exemplo, circuitos elétricos e eletrônicos podem manifestar comportamentos imprevistos devido à presença de fenômenos eletromagnéticos, químicos, térmicos, *etc.* ignorados propositalmente ou não

pelos desenvolvedores de *softwares* de simulação, conforme já observaram Branco *et al.* (2017) e Gustavsson *et al.* (2011), entre muitos outros pesquisadores.

Por mais simples que possam parecer, em princípio, os (poucos) conceitos que caracterizam os dipolos geradores de tensão, a experiência de anos lecionando a disciplina “Circuitos Lineares I” para turmas de cinco diferentes cursos de engenharia na área da eletricidade na UFJF mostra que os discentes, de maneira geral, têm dificuldade em compreender e dominar plenamente esses conceitos. Mas o gerador de tensão é apenas o primeiro tipo de dipolo ativo cujos conceitos devem ser bem compreendidos e dominados pelos discentes. A partir dele, viabiliza-se a compreensão e o domínio dos conceitos que caracterizam o gerador de corrente e os dipolos passivos lineares e não lineares também.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar um Gerador de Sinais (GS) didático seguro e de baixo custo, pensado para servir de recurso didático no processo de ensino/aprendizagem. Ele pode ser utilizado durante as aulas teóricas para enriquecê-las com diversos tipos de demonstrações práticas. Os sinais que podem ser gerados foram definidos de forma a permitir explorar também alguns conceitos matemáticos fundamentais e necessários ao progresso seguro dos discentes dos cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade. Outro trabalho (FERNANDES; CORRÊA; CONSTANTINO, 2024), continuação deste, apresenta sugestões de utilização do GS didático ora apresentado.

2 CIRCUITOS ELÉTRICOS

Os livros-textos sobre circuitos elétricos (NILSSON; RIEDEL, 2016; COSTA, 2013; BOYLESTAD, 2012; ORSINI; CONSONNI; 2002) enfatizam a importância capital que o conteúdo tem em cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade. Seu domínio é imprescindível para análise e síntese (projeto) tanto de circuitos elétricos propriamente quanto para tais finalidades em áreas mais específicas, por exemplo, controle, eletrônica, instalações elétricas, máquinas elétricas, sinais e sistemas, telecomunicações, *etc.* Isto equivale a dizer que não é possível concluir com êxito tais cursos de graduação sem dominar o conteúdo de circuitos elétricos primeiro, porque ele constitui a base de tudo isso!

3 GERADOR DE SINAIS DIDÁTICO

3.1 Introdução

O GS didático requer para operar apenas uma fonte de alimentação de 15 V, ≥ 5 W, e um computador capaz de executar o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (ADI) — *Integrated Development Environment* (IDE), em inglês — do Arduino.

3.2 Circuito eletrônico

O diagrama esquemático do GS didático é mostrado na Figura 1. A Figura 2 mostra um diagrama de blocos funcional que simplifica e facilita a compreensão do diagrama esquemático. O circuito eletrônico é composto somente por componentes de uso geral e baixo custo de aquisição, fáceis de encontrar em lojas especializadas. O custo total do material não excede R\$ 70,00, excluindo-se o valor da Placa de Circuito Impresso (PCI)¹. O componente disparadamente mais caro — Arduino Nano v3.0 baseado no microcontrolador ATmega328P (memória de programa *flash* de 32 kB) — pode ser instalado através de um conector — duas barras de pinos fêmeas 1×15, 180° — para permitir que seja removido e compartilhado com outras aplicações se/quando necessário. E o mesmo se aplica à fonte de alimentação (externa) de 15 V, cujo preço é comparável ao do Arduino Nano.

¹ A PCI também pode ser confeccionada artesanalmente e com baixo custo através de uma das diversas técnicas fartamente divulgadas, por exemplo, na plataforma de compartilhamento de vídeos  YouTube.

Figura 1 – Circuito eletrônico completo do GS didático.

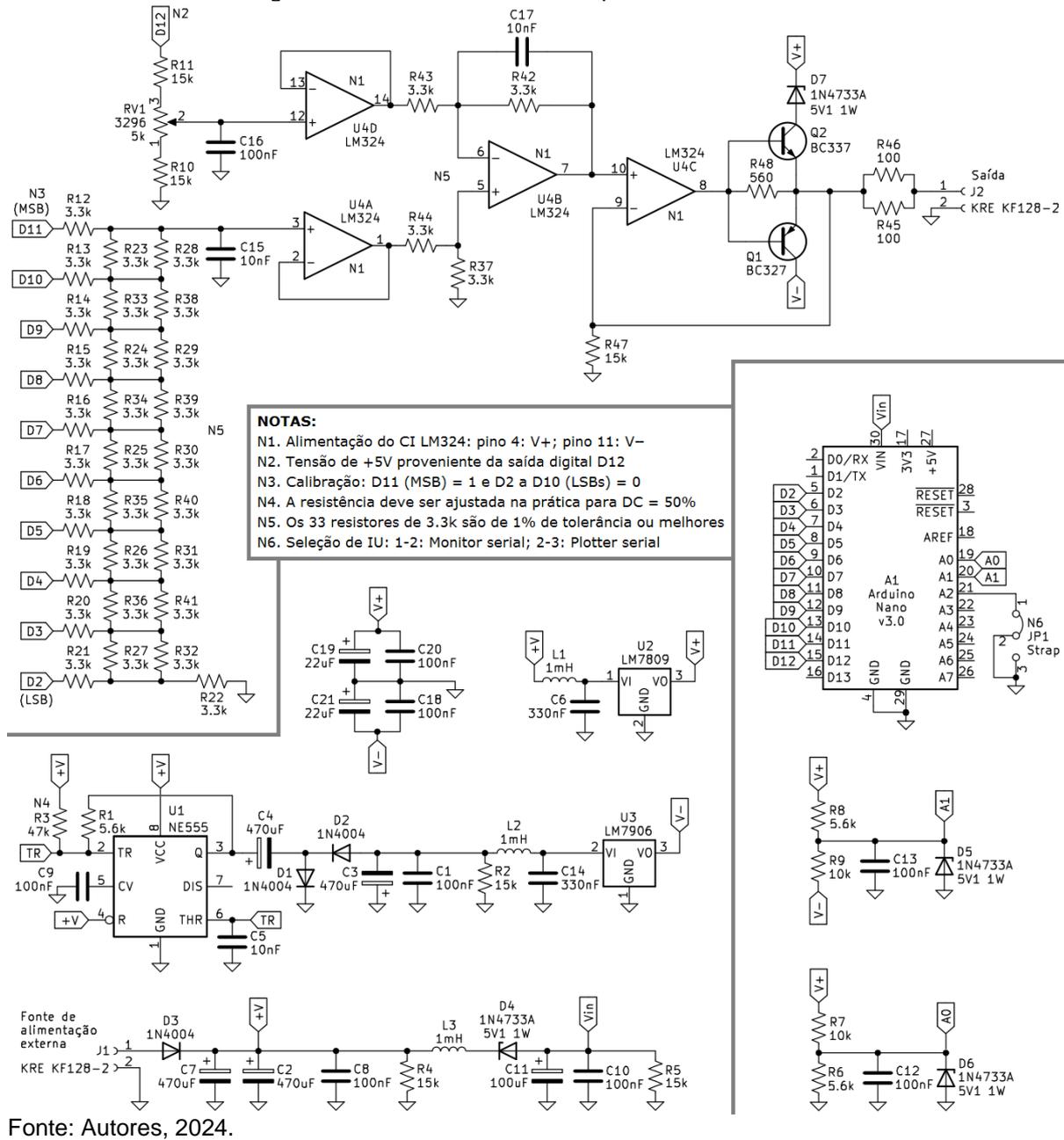
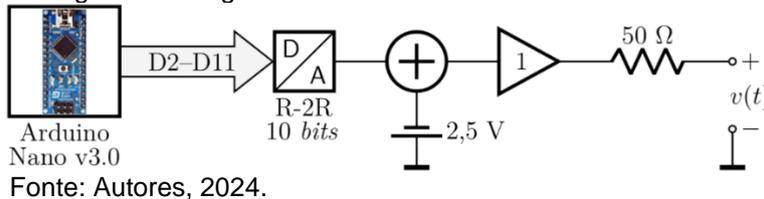


Figura 2 – Diagrama de blocos funcional do GS didático.



O Arduino Nano sintetiza digitalmente os sinais com resolução de 10 *bits* e taxa de amostragem de 100 Hz. Mais informações são fornecidas na Subseção 3.4. Do sinal analógico, obtido pela conversão Digital-Analógica (D/A) realizada através de uma rede resistiva do tipo R-2R, são subtraídos 2,5 V. O sinal elétrico resultante é então disponibilizado na saída do GS didático através de uma resistência de aproximadamente 50 Ω (ver Figuras 1 e 2). A corrente máxima de saída, em módulo, não ultrapassa 50 mA.

A definição do valor (único) de todos os 33 resistores de precisão — 3,3 k Ω , 1% — foi efetuada contingencialmente durante uma visita a uma das lojas de componentes eletrônicos da cidade, mas valores até 33 k Ω , 1%, também podem ser empregados.

O Circuito Integrado (CI) LM555, o circuito dobrador de tensão a ele conectado (SE DRA; SMITH, 2007) e o CI LM7906 formam uma fonte de alimentação regulada negativa. Ambas as tensões de alimentação do CI LM324 são monitoradas pelo Arduino Nano.

3.3 Calibração da tensão de saída

Idealmente, com o *bit* mais significativo (D11) — *Most Significant Bit* (MSB), em inglês — em nível lógico alto e todos os demais *bits* menos significativos (D2 até D10) — *Least Significant Bits* (LSBs), em inglês — em nível lógico baixo (ver Figuras 1 e 2), a *ten* são de saída é nula; mas isso raramente ocorre na prática². A calibração assegura a exatidão da tensão de saída. O procedimento de calibração consiste nos seguintes passos: **i)** desconectar qualquer tipo de carga do conector de saída; **ii)** ajustar o *trimpot* RV1 até obter 2,5 V no pino 14 de U1D; **iii)** medir a tensão de saída e atribuir seu valor, multiplicado por -1 , à constante *calVsaida*, presente no código do Arduino; **iv)** medir a tensão de saída para a forma de onda constante positiva, deslocada 1 V (ver Subseção 3.4); **v)** repetir o passo **iv)** para a forma de onda constante negativa, deslocada -1 V; **vi)** calcular a média dos valores absolutos das tensões medidas nos passos **iv)** e **v)**; **vii)** atribuir à constante *ganhoVsaida*, presente no código do Arduino, o resultado da divisão de 2 pela média obtida no passo **vi)**; **viii)** ajustar RV1 até obter a tensão de saída de 2 V para a forma de onda constante positiva, deslocada 1 V; alternativamente, pode-se obter a tensão de saída de -2 V para a forma de onda constante negativa, deslocada -1 V. Pronto, calibração efetuada! Recomenda-se repetir este procedimento de calibração periodicamente.

3.4 Geração dos sinais elétricos

Praticamente todos os sinais gerados são de 1 Hz, ≈ 2 V_{pp} e média nula. Eles são propositalmente “lentos” para que suas características e propriedades possam ser mais facilmente percebidas por seres humanos. Até o momento, 14 formas de onda podem ser geradas, cobrindo as mais comuns e incluindo outras peculiares. Todas elas podem sofrer deslocamentos de nível tanto positivos quanto negativos — *off-sets*, em inglês —, além da adição (sobreposição) de ruído elétrico pseudoaleatório, simultaneamente ou não.

As formas de onda mais comuns são seis — **i)** constante, **ii)** dente de serra, **iii)** dente de serra invertida, **iv)** quadrada, **v)** senoidal e **vi)** triangular —, geradas através de sínteses diretas. Com exceção dos sinais constante e senoidal, as demais formas de onda também podem ser geradas através de sínteses aditivas — Séries de Fourier (SFs) truncadas. Todas as formas de onda não (cos)senoidais regulares, isto é, aquelas que admitem descrição através de uma série harmônica, podem ser teoricamente decompostas em séries harmônicas infinitas. Porém, na prática, há sempre um limite físico, ou seja, uma limitação da banda de frequências que impede uma síntese aditiva de englobar todos os (infinitos) termos de uma SF. Detalhes podem ser encontrados em Chaparro (2011) e nas referências citadas na Seção 2. Assim, a contagem de formas de onda já chega a dez.

Duas outras formas de onda são as respostas de redes elétricas lineares de 1ª e 2ª ordens a sinais de entrada como degraus unitários positivo e negativo. A resposta da rede elétrica de 2ª ordem é subamortecida. E para concluir, as derradeiras formas de onda são o seno cardinal (*sinc*) (CHAPARRO, 2011) e uma imitação simplificada do sinal característico da atividade elétrica de um coração humano — sinal de eletrocardiograma (ECG)

² O valor não é exatamente zero, devido à presença de erros de quantização e de diversos efeitos provocados por fenômenos eletromagnéticos, térmicos, etc. (SEDRA; SMITH, 2007), porém é limitado a poucos mV.

(REIS *et al.*, 2013). Os quatro últimos sinais foram incluídos especialmente para aguçar a curiosidade e aumentar o interesse dos discentes, pois são exemplos lúdicos também.

O Quadro 1 agrupa os sinais em conjuntos para facilitar a compreensão e a utilização do GS didático. Mais informações acerca das formas de onda são fornecidas abaixo.

Quadro 1 – Sinais gerados pelo GS didático.

Classificação		Formas de onda	Mnemônicos
Comuns	Sínteses diretas	constante; dente de serra; dente de serra invertida; quadrada; senoidal; triangular	c; C; -c; -C; d; D; i; I; q; Q; s; S; t; T
	Sínteses aditivas	dente de serra; dente de serra invertida; quadrada; triangular (...Fourier)	df; DF; if; IF; qf; QF; tf; TF
Peculiares	Respostas	exponencial; subamortecida	e; E; sa; SA
	Específicas	ECG; senoidal cardinal (sinc)	ecg; ECG; sc; SC

Fonte: Autores, 2024.

Constante

O sinal é sintetizado diretamente através de uma das funções constantes

$$f(t) = 1 \quad \text{ou} \quad f(t) = -1 \quad (1)$$

a depender de qual delas é ativada, onde t é o tempo [s]. A primeira é ativada quando um dos caracteres, “c” ou “C”, é enviado ao Arduino Nano através das respectivas linhas de comando das ferramentas “Monitor serial” ou “Plotter serial” do ADI do Arduino. A segunda função é ativada quando “-c” ou “-C” são enviados ao Arduino (ver Quadro 1).

Dente de serra

O sinal é sintetizado diretamente através do par de funções

$$f(t) = \begin{cases} 2t & \text{se } t < T/2 \text{ e} \\ 2(t - T/2) - 1 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

onde $T = 1/f = 1$ s é o período dos sinais gerados. A contagem do tempo é reiniciada todo início de período. A ativação das funções descritas pela Equação (2) ocorre quando “d” ou “D” é enviado à placa Arduino Nano.

O sinal é sintetizado aditivamente através da SF truncada

$$f(t) = \left(\frac{2}{\pi}\right) \sum_{k=1}^M \left(\frac{(-1)^{k+1}}{k}\right) \text{sen}(2k\pi t) \quad (3)$$

onde $M = 9$ é o número máximo de termos que podem compor todas as quatro SFs truncadas. Este número se deve especialmente às capacidades de processamento e comunicação serial relativamente modestas da placa Arduino Nano (ver Subseção 3.5). Como já informado, a taxa de amostragem foi definida em 100 Hz, então todo o processamento e a comunicação serial devem ser concluídos em até 10 ms. A ativação da SF truncada descrita pela Equação (3) ocorre quando “df” ou “DF” são enviados ao Arduino.

Dente de serra invertida

O sinal é sintetizado diretamente através do par de funções

$$f(t) = \begin{cases} -2t & \text{se } t < T/2 \text{ e} \\ 1 - 2(t - T/2) & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4)$$

e a contagem do tempo é reiniciada todo início de período. A ativação das funções descritas pela Equação (4) ocorre quando “i” ou “I” é enviado ao Arduino.

O sinal é sintetizado aditivamente através da SF truncada

$$f(t) = \left(\frac{2}{\pi}\right) \sum_{k=1}^M \left(\frac{(-1)^k}{k}\right) \text{sen}(2k\pi t) \quad (5)$$

A ativação da SF truncada descrita pela Equação (5) ocorre quando “if” ou “IF” são enviados ao Arduino Nano.

Retangular (quadrada)

O sinal é sintetizado diretamente através do par de funções constantes

$$f(t) = \begin{cases} 1 & \text{se } t < T/2 \text{ e} \\ -1 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$$

e a contagem do tempo é reiniciada todo início de período. A ativação das funções descritas pela Equação (6) ocorre quando “q” ou “Q” é enviado à placa Arduino Nano.

O sinal é sintetizado aditivamente através da SF truncada

$$f(t) = \left(\frac{4}{\pi}\right) \sum_{k=1}^M \left(\frac{1}{2k-1}\right) \text{sen}((4k-2)\pi t) \quad (7)$$

A ativação da SF truncada descrita pela Equação (7) ocorre quando “qf” ou “QF” são enviados ao Arduino (ver Quadro 1).

Senoidal

O sinal é sintetizado diretamente através da função

$$f(t) = \text{sen}(2\pi t) \quad (8)$$

A ativação da função descrita pela Equação (8) ocorre quando “s” ou “S” é enviado ao Arduino Nano.

Triangular

O sinal é sintetizado diretamente através do conjunto de funções

$$f(t) = \begin{cases} 4t & \text{se } t < T/4 \text{ e} \\ 4(t-1) & \text{se } t \geq 3T/4 \text{ e} \\ 2-4t & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (9)$$

e a contagem do tempo é reiniciada todo início de período. A ativação das funções descritas pela Equação (9) ocorre quando “t” ou “T” é enviado ao Arduino.

O sinal é sintetizado aditivamente através da SF truncada

$$f(t) = \left(\frac{8}{\pi^2}\right) \sum_{k=1}^M \left(\frac{1}{k^2}\right) \text{sen}\left(\frac{k\pi}{2}\right) \text{sen}(2k\pi t) \quad (10)$$

A ativação da SF truncada descrita pela Equação (10) ocorre quando “tf” ou “TF” são enviados ao Arduino Nano.

Resposta de uma rede elétrica linear de 1ª ordem a sinais como degraus unitários positivos e negativos (exponencial)

O sinal é sintetizado diretamente através do par de funções

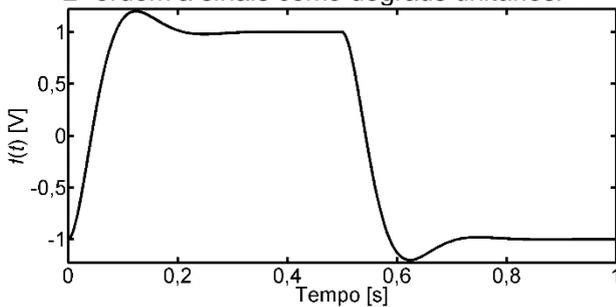
$$f(t) = \begin{cases} 1 - 2\exp(-15t) & \text{se } t < T/2 \text{ e} \\ 2\exp(-15(t - T/2)) - 1 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (11)$$

mas, exclusivamente na primeira vez que é executada, a primeira função da Equação (11) é substituída pela função $1 - \exp(-15t)$. A contagem do tempo é reiniciada todo início de período. A ativação destas funções ocorre quando “e” ou “E” é enviado ao Arduino.

Resposta de uma rede elétrica linear de 2ª ordem a sinais como degraus unitários positivos e negativos (subamortecida)

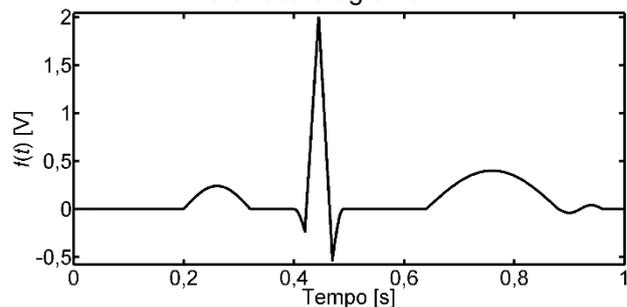
O sinal é sintetizado diretamente através de um par de funções, que foram omitidas para poupar espaço, mas sem prejuízo à compreensão, uma vez que constam em todas referências citadas na Seção 2. A contagem do tempo é reiniciada todo início de período. A Figura 3 mostra a forma de onda do sinal gerado durante um período completo. Há 10% de sobressinal. A ativação ocorre quando “sa” ou “SA” são enviados ao Arduino.

Figura 3 – Resposta de uma rede elétrica linear de 2ª ordem a sinais como degraus unitários.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 4 – Imitação simplificada de um sinal de eletrocardiograma.



Fonte: Autores, 2024.

Sinal de ECG (imitação simplificada)

O sinal é sintetizado diretamente através de um conjunto de funções primordialmente trigonométricas. Elas foram omitidas apenas para poupar espaço, já escasso, pois o conjunto de funções é razoavelmente numeroso. A contagem do tempo é reiniciada todo início de período. A Figura 4 mostra a forma de onda do sinal gerado durante um período. A ativação ocorre quando “ecg” ou “ECG” são enviados à placa Arduino Nano.

Senoidal cardinal (seno cardinal (sinc))

O sinal é sintetizado diretamente através do par de funções

$$f(t) = \begin{cases} \frac{\text{sen}(20\pi t)}{20\pi t} & \text{se } t < T/2 \text{ e} \\ -\frac{\text{sen}(20\pi(t - T/2))}{20\pi(t - T/2)} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (12)$$

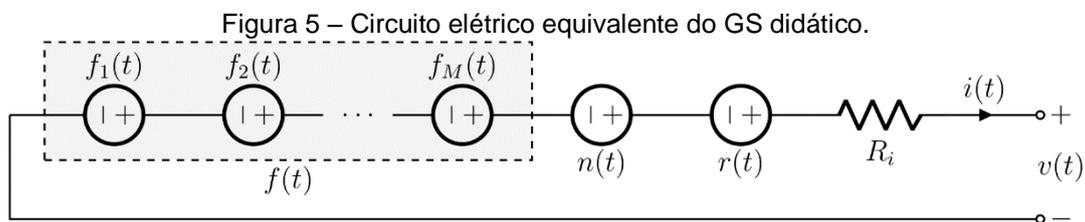
onde a frequência de 10 Hz, definida arbitrariamente, é utilizada para destacar as características mais importantes da função sinc. A contagem do tempo é reiniciada todo início de período. A ativação das funções descritas pela Equação (12) ocorre quando “sc” ou “SC” são enviados à placa Arduino Nano (ver Quadro 1).

Sinal de saída

O sinal de saída é dado por

$$v(t) = f(t) + n(t) + r(t) - R_i i(t) =: e(t) - R_i i(t) \quad (13)$$

conforme está esquematizado na Figura 5 — circuito elétrico equivalente do GS didático ao qual se aplica o teorema da superposição (NILSSON; RIEDEL, 2016; COSTA, 2013; BOYLESTAD, 2012; CHAPARRO, 2011; ORSINI; CONSONNI, 2002) —, onde $f(t)$ representa qualquer das 14 formas de onda que podem ser geradas até o momento, $n(t)$ representa uma tensão constante que pode ou não ser utilizada para deslocar o valor médio de $e(t)$ e $r(t)$ representa um ruído elétrico pseudoaleatório que pode ou não ser adicionado a $e(t)$, tal que $e(t) := f(t) + n(t) + r(t)$. Ambos os sinais são descritos em maiores detalhes a seguir. Cada gerador pode ser ativado/desativado independentemente dos demais. As Figuras 1, 2 e 5 mostram a resistência interna do gerador equivalente, ou seja, $R_i \approx 50 \Omega$. A Figura 1 dá os detalhes construtivos dessa resistência interna.



Fonte: Autores, 2024.

Deslocamento do nível (off-set)

A tensão elétrica de deslocamento de nível é sintetizada diretamente através de uma das três funções constantes

$$n(t) = 1 \quad \text{ou} \quad n(t) = 0 \quad \text{ou} \quad n(t) = -1 \quad (14)$$

a depender de qual delas é ativada. A primeira é ativada quando “n” ou “N” é enviado ao Arduino Nano. A terceira função é ativada quando “-n” ou “-N” são enviados ao Arduino. A segunda função, por sua vez, é ativada no início da execução do código do Arduino ou se o(s) mesmo(s) caractere(s) é(são) reenviado(s) através de uma das linhas de comando das ferramentas do ADI do Arduino; por exemplo, caso “n” ou “N” já tenha sido enviado, resultando em $n(t) = 1 \text{ V}$, por conseguinte, ao reenviar “n” ou “N”, o resultado será $n(t) = 0 \text{ V}$. E a mesma lógica se aplica ao caso dos caracteres “-n” e “-N”. Esta tensão também pode ser gerada sozinha, ou seja, se $f(t) = r(t) = 0 \text{ V}$, então $e(t) = n(t)$.

Ruído

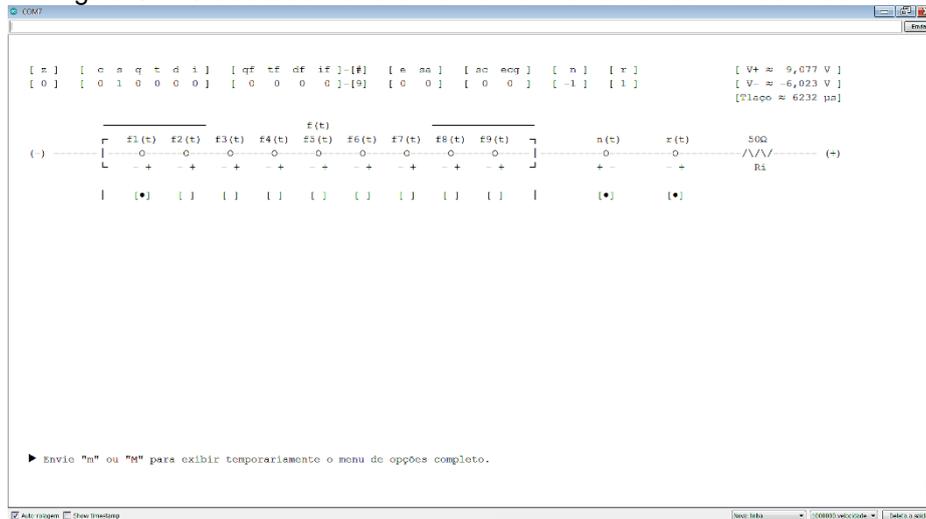
O ruído é um sinal elétrico pseudoaleatório cuja amplitude, em módulo, não ultrapassa 0,1 V. Ele também pode ser gerado sozinho, ou seja, se $f(t) = n(t) = 0 \text{ V}$, então $e(t) = r(t)$. Ele é sintetizado através da função `random()` (ARDUINO, 2024), com a “semente” definida aleatoriamente através da função `randomSeed(analogRead(A7))`. O ruído é ativado quando “r” ou “R” é enviado ao Arduino e desativado quando “r” ou “R” é reenviado ao Arduino, ou seja, com envios alternados — *toggle*, em inglês.

3.5 Interfaces de usuário

As Interfaces de Usuário (IUs) — *User Interfaces* (UIs), em inglês — são bastante simples. Elas foram implementadas com base nas ferramentas disponíveis no próprio ADI

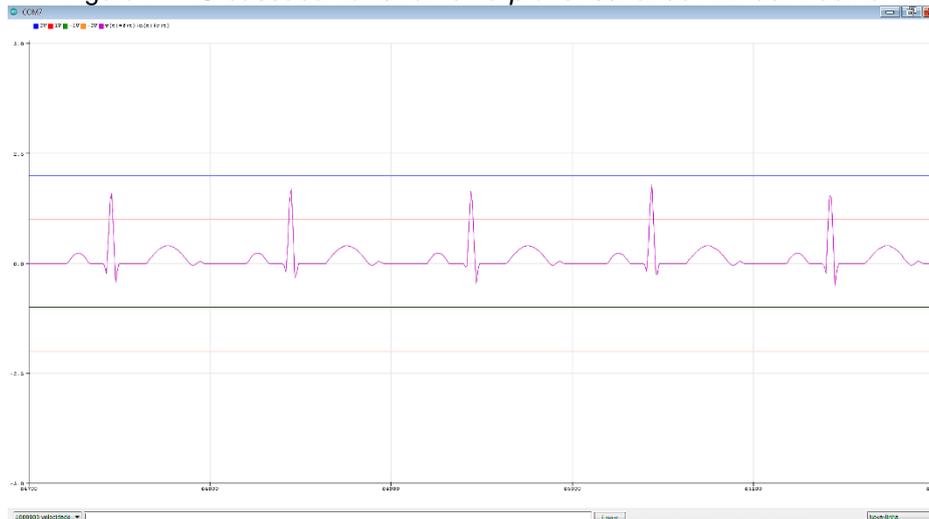
do Arduino para simplificar seu desenvolvimento e facilitar sua utilização. Isso dispensa a instalação de outro *software* para a utilização do GS didático. A principal função das IUs é possibilitar aos usuários definir o sinal a ser gerado. As Figuras 6 e 7 mostram imagens de capturas de tela das IUs. A primeira, baseada na ferramenta monitor serial, é mais sofisticada e fornece mais informações que a outra, que, por sua vez, é baseada na ferramenta *plotter* serial. A primeira IU, selecionada quando o *jumper* de configuração JP1 (ver Figura 1) interliga os pinos 1 e 2, requer que mais dados sejam transmitidos serialmente ao computador que executa o ADI do Arduino, e isso demanda mais de tempo. Por isso, a taxa de transferência de dados, dada em *bits/s*, — *baud rate*, em inglês — deve ser tão elevada quanto 1 Mbps; caso contrário, torna-se impossível atingir a taxa de amostragem de 100 Hz. A outra IU, mais simples, é selecionada quando JP1 interliga os pinos 2 e 3.

Figura 6 – IU baseada na ferramenta monitor serial do ADI do Arduino.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 7 – IU baseada na ferramenta *plotter* serial do ADI do Arduino.



Fonte: Autores, 2024.

4 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um GS didático seguro e de baixo custo, proposto como um recurso auxiliar no processo de ensino/aprendizagem. Aulas teóricas podem ser enriquecidas com demonstrações práticas das teorias apresentadas. Ele também permite explo-

rar alguns conceitos matemáticos fundamentais à formação em cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade. Sabe-se que a parte experimental contribui muito para complementar a formação dos discentes.

O GS foi construído recentemente e o projeto acaba de ser validado. No entanto, ele ainda precisa passar por testes em salas de aula para verificação da adequação e eficácia para os fins educacionais a que se destina. Até o momento, não se dispõe de dados sobre seu uso e impacto na aprendizagem. Coleta de dados e avaliações futuras serão cruciais para que possam ser tiradas conclusões sobre o potencial deste recurso didático.

São ideias para trabalhos futuros: **i)** inclusão de novas formas de onda — sinais pulsados característicos dos processos de retificação de meia onda e de onda completa, entre outros; **ii)** implementação de conversão D/A direta de um valor digitado na linha de comando das IUs; e **iii)** desenvolvimento de outros GSs didáticos para demonstrações práticas dos cinco tipos restantes de geradores — gerador de corrente independente ou não vinculado e os quatro tipos de geradores dependentes ou vinculados.

Os arquivos do tipo Gerber — confecção da PCI — e o código do Arduino Nano (*firmware*) estão disponíveis para compartilhamento mediante solicitação via *e-mail*.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Documentação de referência da linguagem Arduino**. ARDUINO, 2024. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/pt/>. Acesso em: 16 mai. 2024.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos**. 12ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2012.

BRANCO, Matheus V.; COELHO, Letícia A.; ALVES, Gustavo; SCHLICHTING, Luis. Aspectos de diferenciação entre laboratórios remotos e simuladores. In: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), 2017, Joinville. **Anais**. Joinville.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CES nº 1, de 23 de janeiro de 2019a. Diretrizes curriculares nacionais do curso de graduação em engenharia. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 abr. 2019. Seção 1, p. 109.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Res. CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019b. Institui as diretrizes curriculares nacionais do curso de graduação em engenharia. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 abr. 2019. Seção 1, p. 43.

CHAPARRO, Luis F. **Signals and systems using MATLAB®**. Burlington, EUA: Academic Press, 2011.

COSTA, Vander M. da. **Circuitos elétricos lineares: enfoques teórico e prático**. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 2013.

EQUIPE TOTVS. **Metodologias ativas de aprendizagem: o que são e 13 tipos**. TOTVS, 2022. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/instituicao-de-ensino/metodologias-ativas-de-aprendizagem/>. Acesso em: 16 mai. 2024.

FERNANDES, Elisângela. **O sujeito epistêmico de Piaget**. Nova escola, 2010. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/1922/o-sujeito-epistemico-de-piaget>. Acesso em: 16 mai. 2024.

FERNANDES, Daniel de A.; CORRÊA, Natália de C.; CONSTANTINO, Matheus do S. Gerador de sinais didático – parte 2 – utilização. In: 52º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), 2024, Vitória. **Anais**. Vitória.

FILATRO, Andrea; CAVALCANTI, Carolina C. **Metodologias inov-ativas: na educação presencial, a distância e corporativa**. 2ª ed. São Paulo: SaraivaUni, 2023.

GODOY, Elenilton V.; ALMEIDA, Eustáquio de. A evasão nos cursos de engenharia e a sua relação com a matemática: uma análise a partir do COBENGE. **Educação Matemática Debate (EMD)**, Montes Claros, v. 1, n. 3, pp. 339–361, 2017.

GOMES, Francisco J.; BALDIOTI, Hugo R.; GAMA, Vinícius A.; QUEIROZ, Flávio P. Módulo laboratorial de baixo custo, baseado em FOSS, para educação em engenharia de controle de processos industriais. In: IX Congresso Latino-Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CLAGTEE), 2011, Mar del Plata, Argentina. **Anais**. Argentina, pp. 1–7.

GRAHAM, Ruth. **The global state of the art in engineering education**. Relatório técnico. School of Engineering of the Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, EUA, 2018. Disponível em: <https://www.rhgraham.org/resources/Global-state-of-the-art-in-engineering-education---March-2018.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2024.

GUSTAVSSON, Ingvar; ALVES, Gustavo R.; COSTA, Ricardo J.; NILSSON, Kristian; ZACKRISSON, Johan; HERNÁNDEZ-JAYO, Unai; GARCÍA-ZUBIA, Javier. The VISIR open lab platform 5.0: an architecture for a federation of remote laboratories. In: 8th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2011, Brasov, Romênia. **Anais**. Romênia, pp. 284–288.

KOIKE, Beth. **Cai quase pela metade a busca por cursos de engenharia**. Valor Econômico, 2023. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2023/01/30/cai-quase-pela-metade-a-busca-por-cursos-de-engenharia.ghtml>. Acesso em: 16 mai. 2024.

NILSSON, James W.; RIEDEL, Susan A. **Circuitos elétricos**. 10ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2016.

ORSINI, Luiz de Q.; CONSONNI, Denise. **Curso de circuitos elétricos – Volumes 1 e 2**. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2002.

PRESTES, Ethielle; RODRIGUES, Luciana M. Levantamento sobre a importância de aulas práticas para o ensino superior de engenharia. In: 8º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA (SIEPE), 2016, Bagé. **Anais**. Bagé, v. 8, n. 1.

REDAÇÃO BRASIL PARALELO. **Qual o grande problema da educação no Brasil? O professor Felipe Nery debate essa questão**. Brasil Paralelo, 2022. Disponível em: <https://www.brasilparalelo.com.br/artigos/educacao-no-brasil>. Acesso em: 16 mai. 2024.

REDAÇÃO 360. **Por que os alunos de engenharia desistem dos seus cursos?** Engenharia 360, 2022. Disponível em: <https://engenharia360.com/sobre-as-desistencias-nos-cursos-de-engenharia/>. Acesso em: 16 mai. 2024.

REIS, Helder José L.; GUIMARÃES, Hélio P.; ZAZULA, Ana Denise; VASQUE, Ronaldo G.; LOPES, Renato D. (eds.) **ECG: manual prático de eletrocardiograma**. São Paulo: Editora Atheneu, 2013.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. **Microeletrônica**. 5ª ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2007.

SEMESG. **Baixa qualificação nas engenharias pode impactar o crescimento do país**. Sindicato das Entidades Mantenedoras de Estabelecimentos de Educação Superior de Goiás (SEMESG), 2023. Disponível em: <https://www.semesg.org.br/eficiente/sites/semesg.org.br/pt-br/site.php?secao=noticias>. Acesso em: 16 mai. 2024.

SILVA, Mariana M.; FIDALGO, André V.; MARQUES, Arcelina; ALVES, Gustavo R.; SALAH, Razwan M.; JACOB, Frederico L. A comprehensive VISIR bibliographical reference. In: 2021 World Engineering Education Forum/Global Engineering Deans Council (WEEF/GEDC), 2021, Madri, Espanha. **Anais**. Espanha, pp. 468–475.

SOUZA, Everton A. M. de. História da educação no Brasil: o elitismo e a exclusão no ensino. **Cadernos da Pedagogia**, São Carlos, v. 12, n. 23, pp. 15–33, 2018.

VELHO, Léa Maria L. S.; COSTA, Janaina O. P. da; GOULART, Fernanda L. Gargalos na formação em engenharia no Brasil: uma perspectiva dos engenheiros. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 15, n. 35, pp. 1–18, 2019.

DIDACTIC SIGNAL GENERATOR – PART I – INTRODUCTION

Abstract: *Courses in electrical circuits of undergraduate programmes in electrical engineering normally have theoretical classes. This traditional teaching method is not very popular among some students, and many of them have significant knowledge gaps when reaching higher education. Active methodologies and technological resources such as computer simulators are effective tools, but only to a certain extent, to mitigate the challenges faced by students in such programmes, given that students become less and less “hands on” every day, both due to insufficient exposure to practice during the undergraduate programmes or due to lack of own initiative. On the other hand, engineering problems are challenging since they typically require, in addition to mastery of complicated physical and mathematical theories and computational tools, also a range of practical knowledge from other areas of knowledge, associated with the implementation of solutions first obtained with the help of software. This work presents a didactic, safe and low-cost signal generator, proposed to assist in the teaching/learning process of such undergraduate programmes. It was designed to be used in classrooms, to enrich theoretical classes with demonstrations and practical experiments involving independent or uncontrolled voltage sources. It also allows one to explore some mathematical concepts fundamental to training in those undergraduate programmes. Another work, which follows and completes this one, suggests how to explore the resources offered by the didactic signal generator.*

Keywords: *Arduino, Electrical circuits, Electrical engineering, Electronic circuits, Signal generator, Teaching/learning resources*

