



Aplicações do Processamento Digital de Sinais: 44ER, um Instrumento de Ensino no Curso de Informática

Denis Carlos Lima Costa¹ denis.costa@ifpa.edu.br, Lair Aguiar de Meneses¹ lair.meneses@ifpa.edu.br,
Heictor Alves de Oliveira Costa² heictor8@gmail.com, Lucas Pompeu Neves² lucaspompeuneves@gmail.com,
Brennus Caio Carvalho da Cruz² brennuscaio@gmail.com,
Júlio Leite Azancort Neto² julioazancortneto@gmail.com

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA Campus Ananindeua

²Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – Estácio/Belém

Resumo

Este trabalho apresenta uma ferramenta computacional dedicada ao ensino de disciplinas que empregam o conteúdo de Processamento Digital de Sinais (PDS). Tendo como instrumentação as Séries de Fourier, foi possível desenvolver uma metodologia que otimizasse o processo de ensino-aprendizagem nos cursos que utilizam essa tecnologia. A Linguagem Computacional empregada foi o PYTHON, pois essa linguagem suporta a computação matemática simbólica de alto nível, permitindo manipular fórmulas e expressões algébricas de maneira fácil e rápida. Mediante esse mecanismo, criou-se um laboratório onde são executadas diversas simulações científicas relacionadas ao espectro de um sinal. Essas simulações engendram cenários que permitem analisar o comportamento dos sinais, com e sem a presença de ruídos. Desse modo, os cenários aproximam-se dos fenômenos reais adotados por Matemáticos, Engenheiros, Físicos e demais profissionais das ciências aplicadas, bem como, nos cursos de técnicos de informática. Os resultados das simulações são apresentados nos formatos algébrico e gráfico, ajudando, por conseguinte, a inserção da interdisciplinaridade dos conteúdos estudados. Isso posto, considera-se que as análises e as interpretações são realizadas com maior precisão, mitigando os erros e maximizando o ensino e a aprendizagem.

Palavras chaves

Processamento Digital de Sinais, Séries de Fourier, Linguagem Python de Computação, Tecnologias de Ensino-Aprendizagem, *Digital Signal Processing*.

1. Introdução

Os cursos Subsequentes dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia do Brasil têm se apresentado como uma excelente oportunidade de acesso ao conhecimento técnico, sempre considerando as reflexões sociais. Por exemplo, a educação científica e tecnológica ministrada pelo Instituto Federal do Pará (IFPA), *Campus Ananindeua*, é entendida como um conjunto de ações que busca articular os princípios científicos aplicados no desenvolvimento tecnológicos. Esse tipo de formação é imprescindível ao aprimoramento tecnológico e social da nação.

Em vista disso, o Curso Técnico em Informática na modalidade Subsequente (CTIS) executado no IFPA – *Campus Ananindeua*, não está restrito somente à formação técnica-profissional. O curso, similarmente, tem como proposta a iniciação científica vinculada à tecnologia promovendo instrumentos que levem à ações e reflexões sobre as atualidades do universo da Ciência e da Tecnologia, conforme consta no plano de desenvolvimento dessa instituição.

Isto posto, esse trabalho se propõe a apresentar uma experimentação no Curso Técnico em Informática na modalidade Subsequente (CTIS). No Projeto Pedagógico do Curso (PPC) foram incorporadas disciplinas optativas com características de um curso superior de computação. Uma delas é sobre o Processamento Digital de Sinais (PDS).

De acordo com o projeto pedagógico do CTIS, o egresso estará apto: a desempenhar atividades voltadas ao desenvolvimento de aplicativos e de aplicações dinâmicas para *web*; utilizar os ambientes de desenvolvimento de sistemas; trabalhar com sistemas operacionais e banco de dados; configurar, administrar e monitorar equipamentos computacionais; implementar serviços de redes, sistemas operacionais, *softwares*, aplicativos de computadores, assim como, prestar serviços e suporte na área da informática. Como entender e executar essas atividades, vinculadas à computação, sem o conhecimento do PDS?

De acordo com Magalhães e Silva (2018), a aula prática constitui um importante recurso metodológico que facilita o processo de ensino-aprendizagem nas disciplinas, em especial nos cursos de tecnologia. Os conceitos teóricos aliados à prática facilitam a transição do que foi desenvolvido em sala de aula para o que será aplicado no mercado de trabalho.

Em seu artigo, Rios e César (2019) consideram que, abordar as novas competências que a quarta Revolução Industrial está impondo ao trabalhador do futuro, faz parte das competências que a Base Nacional Comum Curricular sinaliza à Educação Básica. E ainda, caso seja possível, incorporar práticas pedagógicas que visem atender às novas necessidades. Desse modo, essas habilidades e competências poderão ser desenvolvidas em sala de aula desde a Educação Infantil até Ensino Médio.

Campos et al (2019) apresentam uma maneira diferente e descontraída de estudar os fenômenos da Física, no que se refere aos sistemas hidráulicos. Unindo a prática com o aprendizado, o artigo mostra uma inovação no sistema de ensino habitual. Os autores executaram uma metodologia de ensino, em que o docente aplica a teoria com seu conhecimento e o discente executa esses conceitos, ilustrando-os de uma forma mais real, passando a entender o funcionamento dos sistemas hidráulicos. Ainda, segundo os autores, o aluno demonstra mais interesse em aprender quando o ensino é voltado para uma metodologia com mais ações práticas, de forma mais leve e desembaraçada. Com o maior nível de concentração, os estudantes foram mais eficientes na aplicação dos conceitos do Princípio de Pascal, com relação ao estudo dos

sistemas hidráulicos.

Reis et al (2019), no seu trabalho sobre cordas vibrantes, declaram que o conhecimento provindo do estudo da Física é posto à prática em diversos locais e ocasiões. Dispositivos como os sismográficos e medidores do fluxo de dados via internet são baseados nos conceitos da ondulatória. Sendo assim, a proposta de ensinar PDS no CTIS é uma sequência lógica ao estudo da produção e propagação das ondas.

Nesse artigo, propõe-se uma metodologia ao estudo do Processamento Digital de Sinais, empregada por meio do instrumento computacional denominado **4YER**, composto pelos *scripts* *4yer_01* e *4yer_02*. O primeiro *script* é responsável pela parte analítica da modelagem, enquanto que o segundo, executa a simulação com o comportamento gráfico do sinal. A pesquisa foi implementada com base no Projeto Pedagógico do Curso Técnico em Informática na modalidade Subsequente. Foram apresentados aos alunos as características matemáticas das Séries de Fourier (SF), suas aplicações e as respectivas técnicas de programação. Os modelos computacionais foram implementados em Linguagem PYTHON de Programação, fundamentados nos modelos matemáticos das SF. A partir dos modelos computacionais foi possível elaborar as simulações computacionais. Essas simulações produziram inúmeras análises, extremamente úteis no processo de ensino-aprendizagem de um curso de computação.

2. Sustentação Teórica

Os relatos das experiências relevantes no processo de ensino-aprendizagem nos cursos das áreas de Ciências Naturais e Exatas, têm crescido de forma substancial. Toral et al (2005), produziram um trabalho em que analisam a utilização e uso de uma *web* ferramenta digital, baseada no ensino do Processamento de Sinais. Segundo os autores, a pesquisa consiste em medir não apenas o uso dessa ferramenta, mas também as variáveis externas com influência significativa em seu uso no planejamento de futuras melhorias. A ferramenta, projetada ao ambiente educacional, foi aplicada como metodologia de ensino em um curso de graduação.

Ibrahim (2012) evidencia um curso de nível de graduação em Processamento Digital de Sinais em que o objetivo principal é melhorar a compreensão dos conceitos teóricos, permitindo que os alunos experimentem o PDS em tempo real, usando dispositivos reais. O artigo descreve a experiência de uma instituição no ensino do processamento de sinal aplicado. O trabalho é de interesse para aqueles que ministram cursos relacionados ao nível de graduação e pós-graduação, que disponibilizem instrumentos e dispositivos em um laboratório para experimentos.

No trabalho de Mujica et al (2015), existe uma descrição dos esforços para incluir uma ação prática no ensino em um dos principais conceitos do PDS. A base da abordagem dos autores está fundamentada em uma ferramenta de baixo custo e código-fonte aberto. O sistema apresentado possui uma interface fácil de usar e garante uma programação semelhante ao Arduino. A ferramenta permite que os alunos visualizem os conceitos fundamentais do PDS, como filtros digitais e o processamento de taxas múltiplas implementado em tempo real em um processador de ponto fixo.

Para Luo (2018), o cancelamento do ruído de um sinal é um dos principais tópicos de aplicação na engenharia no estudo do PDS durante um curso de graduação. Ainda segundo o autor, o significado físico intrínseco desse estudo é um grande obstáculo ao processo de ensino-aprendizagem. Além disso, o artigo, usa um método educacional que objetiva a remoção de

ruído, executado na Linguagem MATLAB de Programação. O modelo computacional foi desenvolvido para a conveniência de aprendizado e compreensão de alunos dos curso que necessitam da análise do PDS.

O artigo publicado por Weintrop e Wilensky (2019), relata que as linguagens de programação baseadas em blocos estão se tornando cada vez mais comuns, em computadores, nas salas de aula. A justificativa para o uso de blocos está baseada em ambientes educacionais formais e na ideia de que os conceitos e práticas podem ser desenvolvidos a fim de oportunizar o ensino-aprendizado no curso de Ciência da Computação. Essa visão baseia-se no pressuposto de que o aprendizado com ações e conceitos possuem ganhos relevantes, pois são transferidos para linguagens de programação baseadas em texto. Para testar esta hipótese, o artigo apresenta os resultados de um estudo experimental em sala de aula, no qual os novatos em programação passaram cinco semanas usando um ambiente de programação baseado em bloco ou em texto.

O argumento de empregar a computação como subsídio ao processo de ensino-aprendizagem foi nitidamente evidenciado por Costa et al (2019), no livro Métodos Matemáticos Aplicados nas Engenharias via Sistemas Computacionais. Nessa obra, os autores retratam substanciais *scripts*, desenvolvidos em Linguagem PYTHON de Programação, que têm em vista otimizar os processos matemáticos usados pelas engenharias.

3. Linguagem PYTHON de Programação

A Linguagem PYTHON de programação foi originalmente elaborada por Guido van Rossum no início dos anos 1990. A partir desse momento, linguagem ganhou destaque nas áreas industrial, e principalmente, na educacional.

PYTHON é formalmente uma linguagem interpretada. Os comandos são executados através de um *software* conhecido como o interpretador Python. Durante o tempo em que o intérprete é usado interativamente, um programador normalmente define uma série de comandos com antecedência e salva esses comandos em um arquivo de texto simples conhecido como código-fonte ou um *script*.

Essa linguagem suporta a computação matemática simbólica de alto nível, manipulando fórmulas e expressões algébricas fácil e rapidamente. Com ela é possível executar a maioria dos métodos matemáticos, como por exemplo, as equações que definem as Séries de Fourier.

Esse trabalho está fundamentado no versão 3.7 da Linguagem PYTHON, incrementado no IDE (*Integrated Development Environment*) Spyder 4.01. A versão mais recente da linguagem é livremente disponível em <https://www.anaconda.com/distribution/>.

4. Modelagem Matemática: Séries de Fourier

Para se obter valores expandidos de uma função e analisar a sua periodicidade de forma global, as Séries de Fourier são extremamente eficientes. Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), Físico-Matemático francês, foi um dos primeiros na investigação destes problemas. No livro “*Théorie Analytique de la Chaleur*”, escrito em 1822, ele introduziu o conceito conhecido atualmente como Série de Fourier, que é muito utilizado nas ciências em geral.

O entendimento das Séries de Fourier (SF) é extremamente apropriado na atualidade. Matemáticos, Engenheiros, Físicos e demais profissionais das ciências aplicadas, devem estar bem fundamentados nos princípios que embasam essas equações. O campo de aplicações é extenso: estudo de sinais, ondas eletromagnéticas, raio-x, medicina, sonar, radar, equações diferenciais, mecânica quântica, música, ruídos, imagens, etc, todos esses elementos podem ser explicados mediante as SF. Por esse motivo, o IFPA – *Campus Ananindeua*, decidiu ofertar uma disciplina ao CTIS que fornecesse uma introdução ao estudo das SF.

O modelo matemático que representa as SF é constituído por várias equações. A equação (1), por exemplo, trata do primeiro coeficiente, o a_0

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_1} f(t) dt \quad (1)$$

em que $T = t_1 - t_0$, é o período fundamental da função $f(t)$.

O segundo coeficiente das SF, o a_n , está representado pela equação (2)

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_1} f(t) \cos(n\omega t) dt \quad (2)$$

em que n é o número de harmônicos da função $f(t)$ e $\omega = \frac{2\pi}{T}$ é a frequência definida em função do período fundamental. É importante lembrar que $n \in \mathbb{Z}_*^+$.

O terceiro coeficiente da SF, o b_n , está representado pela equação (3)

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_1} f(t) \sen(n\omega t) dt \quad (3)$$

Dessa forma, a Série de Fourier pode ser determinada pela equação (4), ou seja,

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sen(n\omega t)] \quad (4)$$

Em vista disso, esse artigo considera que as principais variáveis de controle do modelo de Fourier são: t_0, t_1, n e a função $f(t)$. O programa elaborado, a partir dessa modelagem, executa as simulações em conformidade com esses dados de entrada. Com esse argumento, o discente do CTIS não precisará deter um conhecimento aprofundado de Cálculo Diferencial e Integral.

5. Modelagem Computacional: Processamento Digital de Sinais

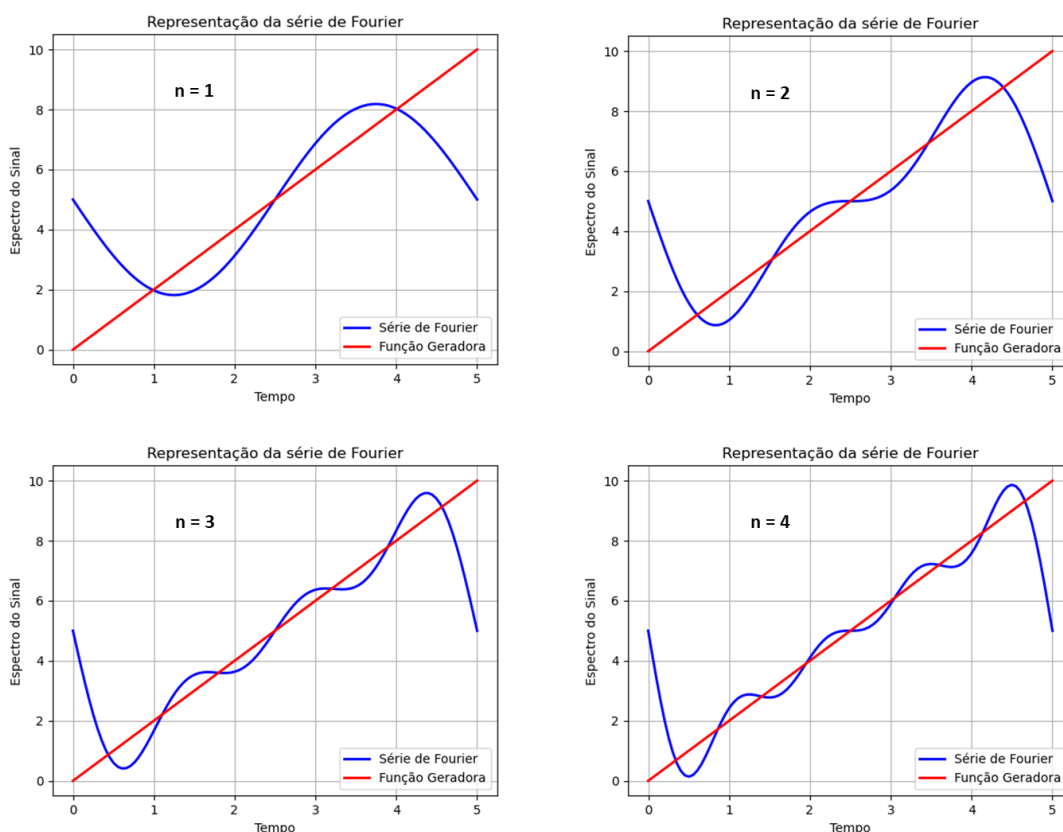
Jean Baptiste Joseph Fourier desenvolveu um teorema extraordinariamente imprescindível. O teorema mostra que toda forma de onda periódica pode ser decomposta em ondas senoidais, com frequências que são múltiplos inteiros da frequência fundamental da forma de onda original. Essas senóides são chamadas de harmônicos. São harmônicos pares, se os multiplicadores da frequência forem pares e harmônicas ímpares para os multiplicadores ímpares.

Por conseguinte, é possível aplicar essa ideia no estudos dos sinais. Sinal é uma função que apresenta informações sobre o comportamento ou atributos de um fenômeno. Para Física, qualquer quantidade exibindo variação ao longo do tempo ou variação no espaço, é potencialmente um sinal, e poderá fornecer informações sobre o *status* de um sistema físico ou uma mensagem entre observadores, entre outras possibilidades.

O termo Sinal inclui áudio, vídeo, sonar, radar e muitos dos indicadores usados na medicina e em musicais. Um sinal, em eletrônica, é uma corrente elétrica ou eletromagnética utilizada para transportar dados. Os sinais encontrados na natureza podem ser convertidos em sinais elétricos e transportados, bem como é exequível representá-los por modelos computacionais, os quais são embasados pelos modelos matemáticos que fundamentam as Séries de Fourier.

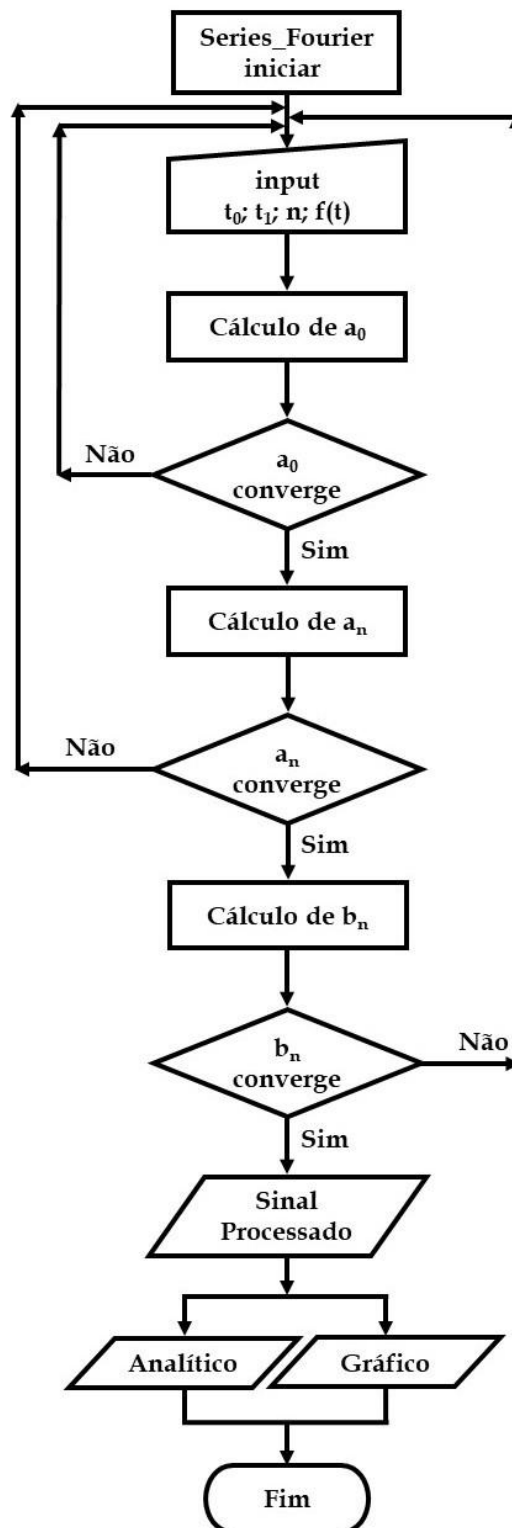
A Figura 1 representa, graficamente, o comportamento senoidal de um sinal para os harmônicos variando no intervalo $n = [1; 4]$. O sinal foi gerado a partir da função linear $f(t) = 2t$, utilizando os *script* 4YER_01 e 4YER_02, em um intervalo de tempo definido por $t_0 = 0$ a $t_1 = 5$ s.

Figura 1 – Sinal de uma função linear



Esse artigo evidencia um modelo computacional das SF, implementado em Linguagem PYTHON de Programação, destacando cada termo das equações (1), (2), (3) e (4). Essa proposta viabiliza o processo de ensino-aprendizagem, pois o discente poderá modificar os principais elementos de controle das séries e avaliar as consequências dessa alteração. As variáveis de entrada, definidas na modelagem matemática, assim como o algoritmo computacional, estão representados na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma do modelo computacional para as SF



5. Análises e Resultados

A partir do modelo matemático-computacional das SF, foi possível simular o processamento digital de sinais em duas situações: caso (a), sem a presença de ruído; caso (b),

com a presença de ruído. Ruído é um sinal interferente, de natureza aleatória, que provoca a degradação do sinal principal durante seu processamento. A equação (5) representa a relação Sinal – Ruído.

$$R = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n S_k^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_k^2}} \quad (5)$$

em que S_k é valor da função sinal no k -ésimo harmônico e r_k é valor da função ruído no k -ésimo harmônico.

Essa expressão foi incorporada ao modelo matemático-computacional a fim de se obter simulações que retratem, o mais próximo possível, fenômenos reais. Dessa forma, a equação (4) pode incorporar a equação (5) e assumir o formato representado pela equação (6)

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)] + R \quad (6)$$

Em ambas as situações, visualiza-se a variação do Espectro do Sinal na curva produzida pelas SF. Essa variação é quantificada mediante uma alternância de cores compreendida entre o valor mínimo (cor azul), passando pelos valores intermediários (respectivamente nas cores, verde, amarela e alaranjada), até alcançar o valor máximo (cor vermelha).

As simulações foram efetuadas de acordo com as principais funções estudadas no ensino médio. Dessa forma, o discente aplicará os conceitos da Matemática, em interpretações da Física, simulados em uma linguagem de programação. Com essa metodologia o aluno integrará os conhecimentos matemáticos e físicos aos da Lógica e Algoritmo de programação.

Os resultados analíticos e gráficos, obtidos com essa proposta, exigem do docente, bem como do discente, a interdisciplinaridade dos conteúdos estudados. Essa interdisciplinaridade, proporciona excelentes projetos integradores, que por sua vez, produzem magníficas pesquisas.

Caso (a)

Nessa fase dos experimentos, os sinais gerados não receberam a interferência de ruído.

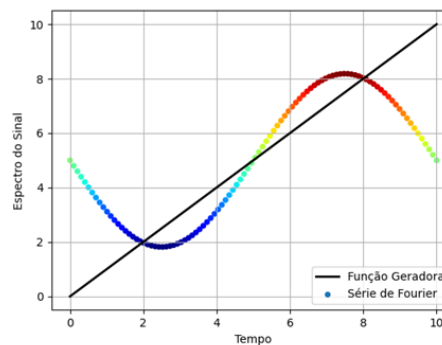
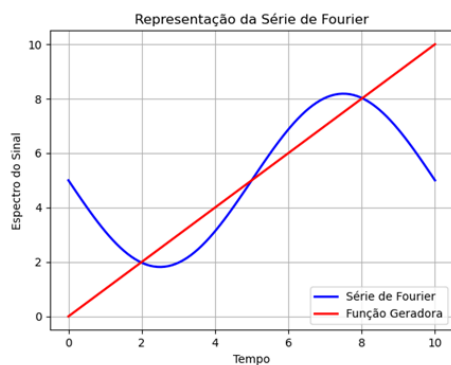
No exemplo (a1), a Figura 3 mostra a propagação de um sinal, gerado pela função linear, conforme a equação (7).

$$f(t) = t \quad (7)$$

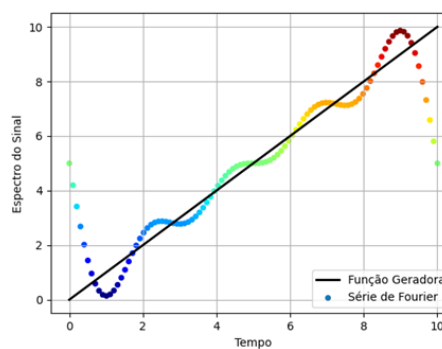
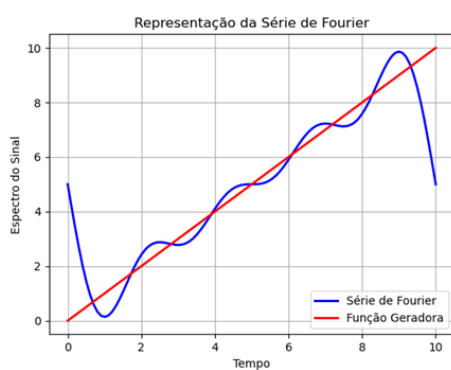
As simulações foram geradas para $n = 1, 4, 7 \text{ e } 10$ harmônicos. Dessa maneira, foi possível examinar como o número de harmônico interfere nas características do sinal.

Figura 3 – Representação de sinais gerados por uma função linear

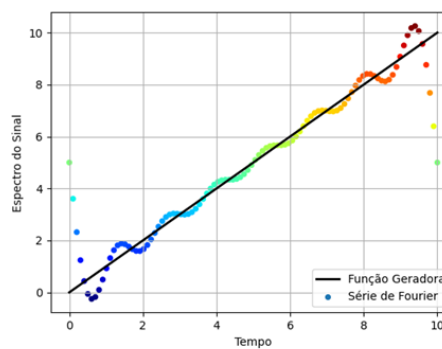
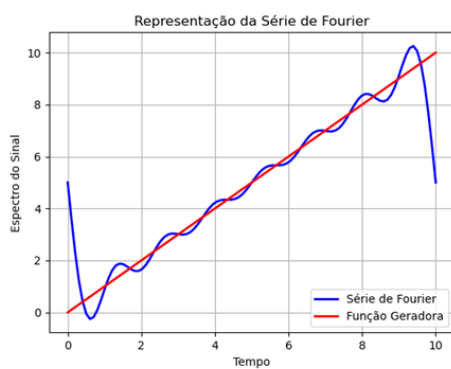
n = 1



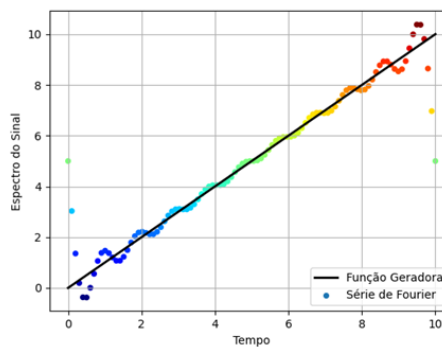
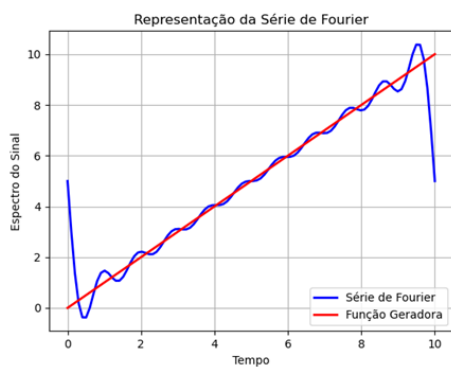
n = 4



n = 7



n = 10



As expressões (8) e (9) representam os resultados analíticos, respectivamente, para $n = 1$ e $n = 4$ harmônicos. Em virtude da grande extensão das expressões com 7 e 10 harmônicos, elas não serão apresentadas no artigo.

$$S(t) = 5 - \frac{10}{\pi} \text{sen}(0.2\pi t) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} S(t) = & 5 - \frac{10}{\pi} \text{sen}(0.2\pi t) - \frac{5}{\pi} \text{sen}(0.4\pi t) - \frac{10}{3\pi} \cos(6\pi) \\ & + \frac{5}{9\pi^2} \text{sen}\left(\frac{\pi}{112589}\right) \text{sen}(0.6\pi t) - \frac{5}{2\pi} \text{sen}(0.8\pi t) - \frac{5}{9\pi^2} \\ & + \frac{10}{3\pi} \text{sen}\left(\frac{\pi}{112589}\right) + \frac{5}{9\pi^2} \cos(6\pi) \cos(0.6\pi t) \end{aligned} \quad (9)$$

Conforme apresentado na Figura 3, à medida que o número de harmônicos aumenta, mais o espectro do sinal se aproxima da função geradora. Por conta dessa aproximação, mais pontos de interseção as curvas apresentarão, proporcionando um estudo mais aprimorado das características do sinal, como por exemplo, a sua periodicidade e frequência de oscilação. Ainda sobre a análise gráfica, é possível perceber que a intensidade do sinal aumenta durante a propagação do mesmo.

Na análise dos resultados analíticos, percebe-se que a função sinal, $S(t)$, vai se expandindo de acordo com o número de harmônicos, como mostram as equações (8) e (9). Essa expansão se deve ao fato de que a Série de Fourier (SF) intercepta cada vez mais pontos da função geradora, $f(t)$. Sendo assim, a função geradora poderá ser substituída pela função sinal, a fim de que se possa analisar as características do sinal estudado.

No exemplo (a2), a Figura 4 mostra a propagação de um sinal, gerado pela função quadrática, conforme a equação (10).

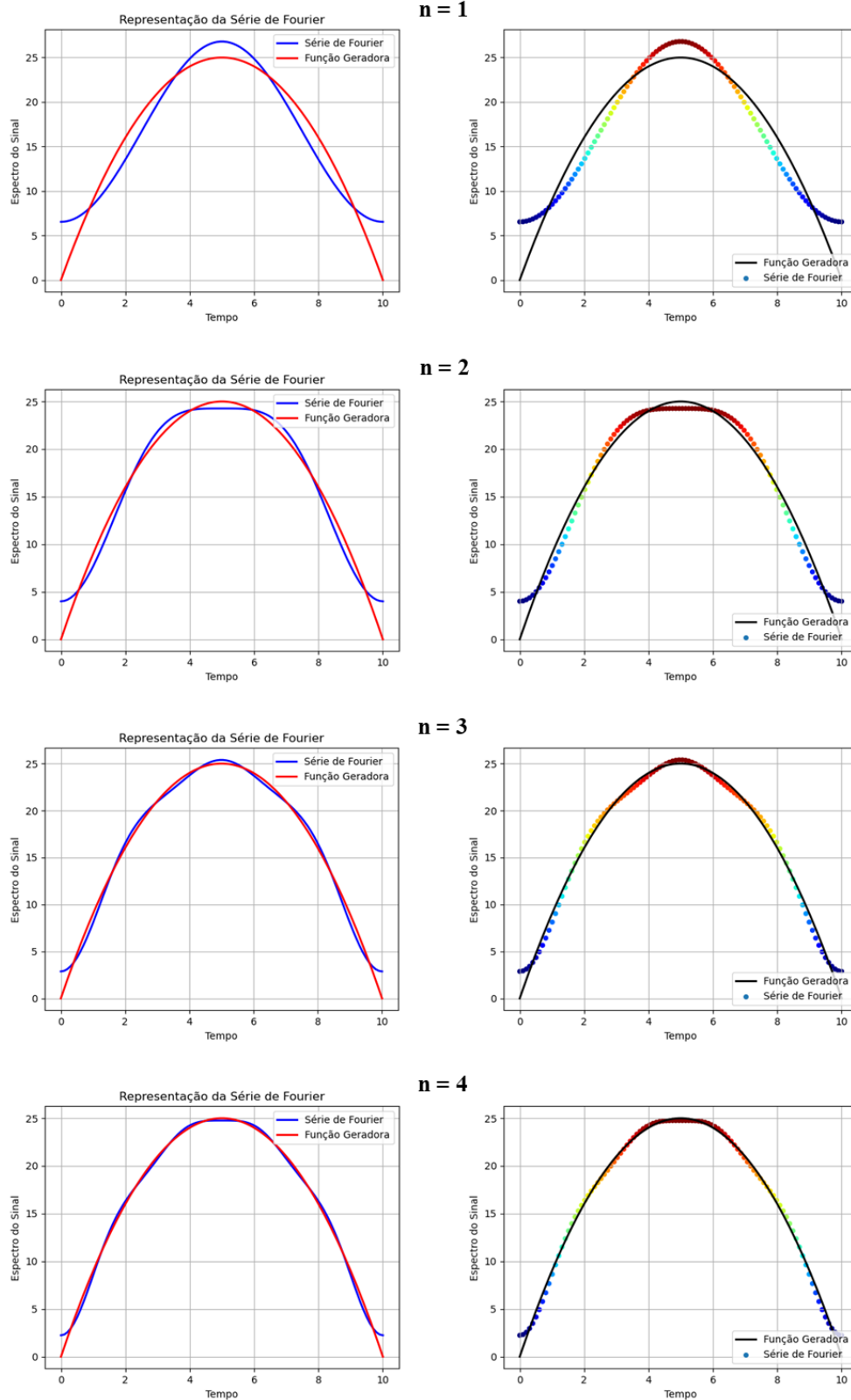
$$f(t) = 10t - t^2 \quad (10)$$

Os harmônicos escolhidos para essas análises, foram: $n = 1, 2, 3$ e 4 . Dessa maneira, tem-se parâmetros para avaliar como os harmônicos sequenciais interferem nas características do sinal.

Conforme apresentado na Figura 4, à proporção que se aumenta o número de harmônicos, o espectro do sinal mais se aproxima da função geradora. Devido a essa aproximação, a quantidade de pontos de interseção entre as curvas aumentará, possibilitando um estudo mais aprimorado das características do sinal, como por exemplo, o seu período e a sua frequência de oscilação.

Continuando com a análise gráfica da Figura (4), é possível constatar que a intensidade do sinal é maximizada no ponto máximo da função geradora.

Figura 4 – Representação de sinais gerados por uma função quadrática



As expressões (11), (12), (13) e (14) representam os resultados analíticos, respectivamente, para $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ e $n = 4$ harmônicos.

$$S(t) = \frac{50}{3} - \frac{100}{\pi^2} \cos(0.2\pi t) \quad (11)$$

$$S(t) = \frac{50}{3} - \frac{100}{\pi^2} \cos(0.2\pi t) - \frac{25}{\pi^2} \cos(0.4\pi t) \quad (12)$$

$$S(t) = \frac{50}{3} - \frac{184}{99\pi^3} \cos(6\pi) - \frac{50}{9\pi^2} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{112590}\right) \quad (13)$$

$$+ 2.056 \times 10^{-14} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{112590}\right) + \frac{184}{99\pi^3} \operatorname{sen}(0.6\pi t) - \frac{100}{\pi^2} \cos(0.2\pi t)$$

$$- \frac{25}{\pi^2} \cos(0.4\pi t) - \frac{50}{9\pi^2} - \frac{50}{9\pi^2} \cos(6\pi)$$

$$+ \frac{184}{99\pi^3} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{112590}\right) \times \cos(0.6\pi t)$$

$$S(t) = \frac{50}{3} - \frac{184}{99\pi^3} \cos(6\pi) - \frac{50}{9\pi^2} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{112590}\right) + \frac{184}{99\pi^3} \operatorname{sen}(0.6\pi t) \quad (14)$$

$$- \frac{100}{\pi^2} \cos(0.2\pi t) - \frac{25}{\pi^2} \cos(0.4\pi t) - \frac{50}{9\pi^2} - \frac{50}{9\pi^2} \cos(6\pi)$$

$$+ \frac{184}{99\pi^3} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{112590}\right) + 2.056 \times 10^{-14} \cos(6\pi) \times \cos(6\pi t)$$

$$- \frac{25}{4\pi^2} \cos(0.8\pi t)$$

Pode-se observar que a magnitude das expressões analíticas aumenta de acordo com o número de harmônicos utilizados para sequenciar o sinal. A precisão da expansão em Série de Fourier aumenta a resolução da modelagem de um sinal, de acordo com o número de harmônicos solicitados. Todavia, séries com um número de harmônicos muito grande, necessitam de uma estrutura computacional de mesma ordem, uma vez que as expressões analíticas, muito extensas, terão uma estrutura matemática que exigirá avaliações numéricas robustas e complexas.

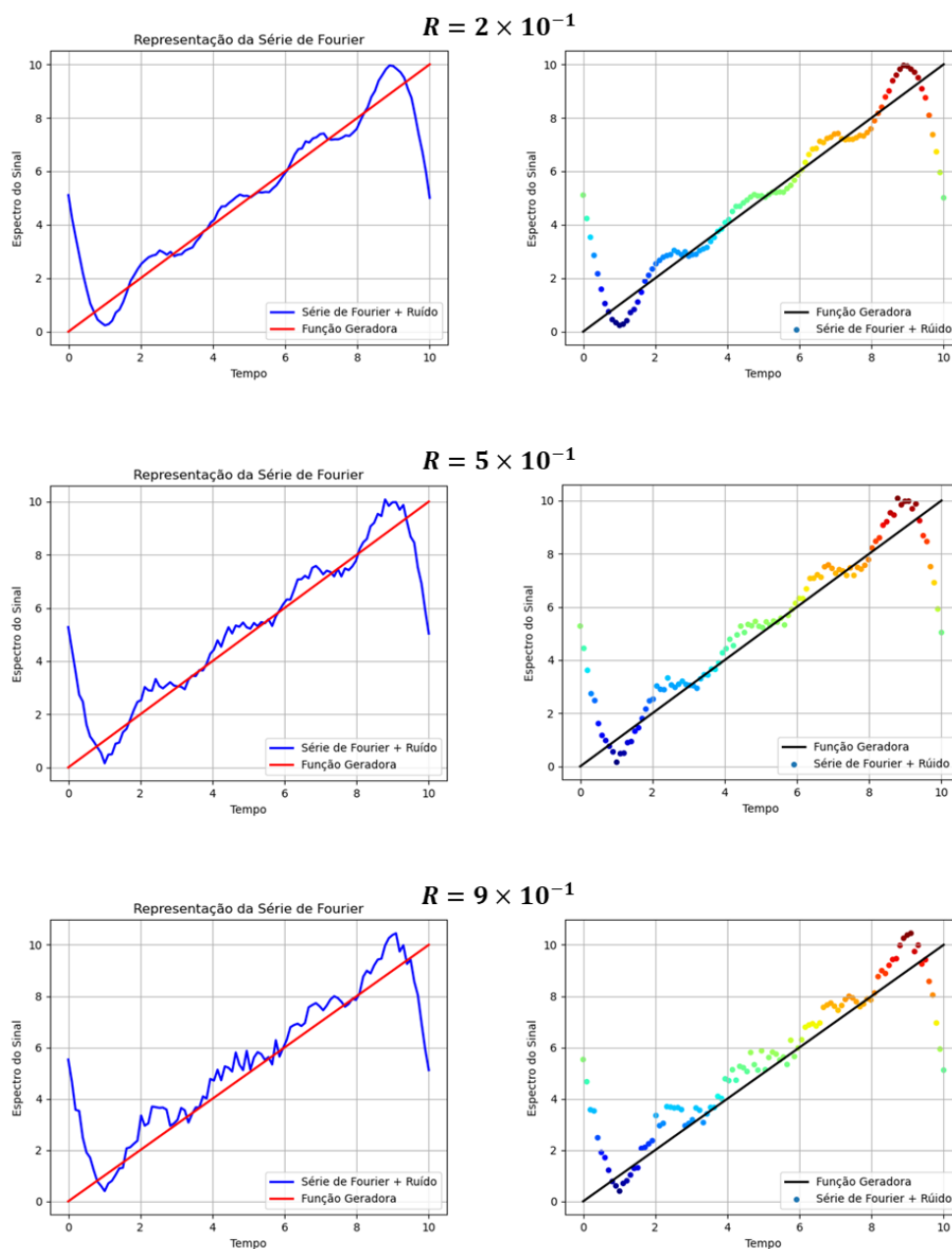
Caso (b)

Nessa fase dos experimentos, os sinais gerados receberam a interferência do ruído. Considera-se, no modelo computacional, a natureza aleatória do ruído.

No exemplo (b1), a Figura 5 mostra a propagação de um sinal, gerado pela função linear representada na equação (7). As simulações foram geradas para $n = 4$ harmônicos.

O objetivo desse experimento é examinar como o nível de ruído interfere nas características do sinal. Para isso foram implementados, na equação (5), $R = 2 \times 10^{-1}$, $R = 5 \times 10^{-1}$ e $R = 9 \times 10^{-1}$, respectivamente.

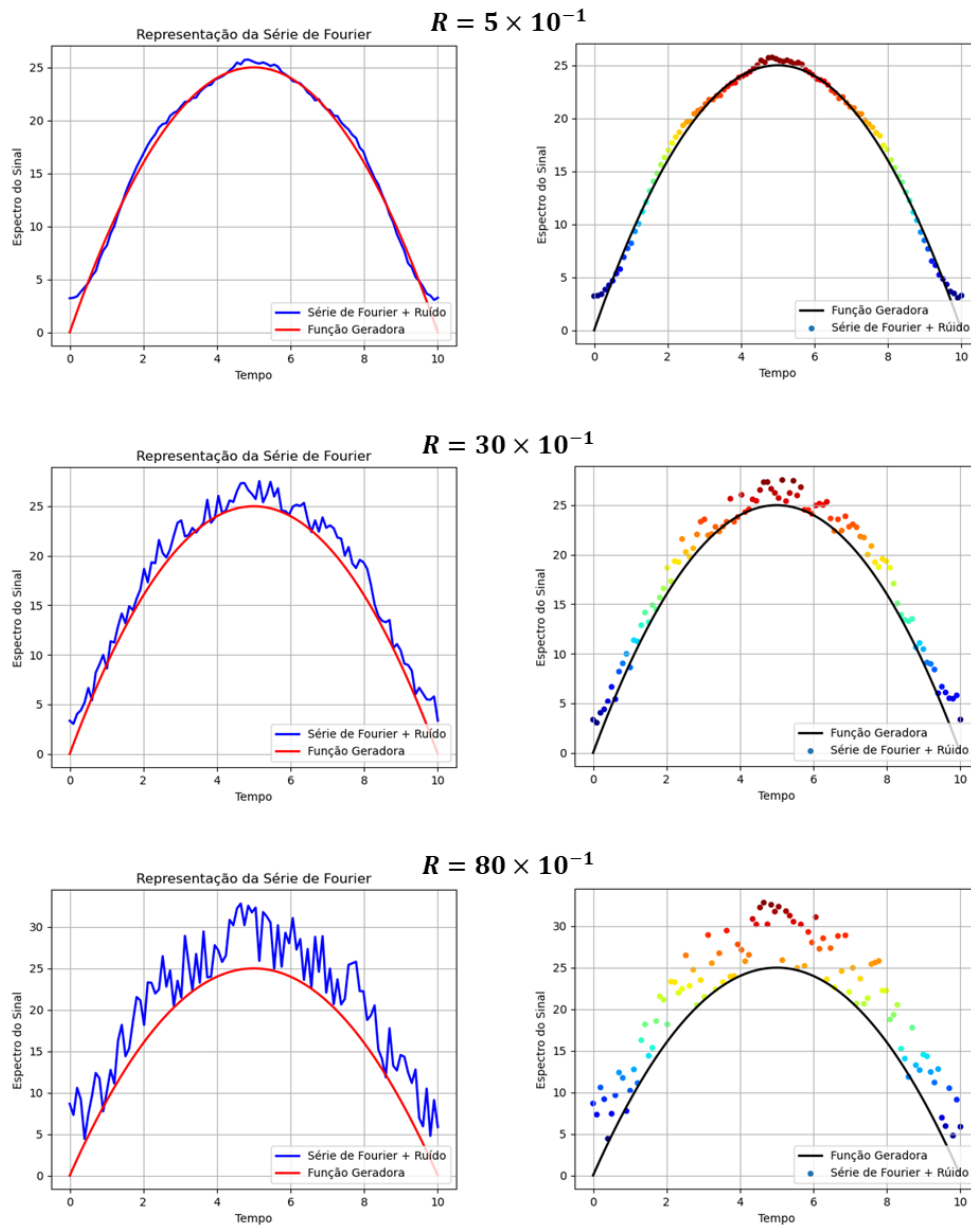
Figura 5 – Representação de sinais gerados por uma função linear com ruído



No exemplo (b2), a Figura 6 mostra a propagação de um sinal, gerado pela função quadrática representada na equação (10). As simulações foram geradas para $n = 3$ harmônicos.

O propósito desse experimento é examinar como o nível de ruído interfere nas características do sinal. Para isso foram implementados, na equação (5), $R = 5 \times 10^{-1}$, $R = 30 \times 10^{-1}$ e $R = 80 \times 10^{-1}$, respectivamente.

Figura 6 – Representação de sinais gerados por uma função quadrática com ruído



Percebe-se, nesse experimento, que o nível de ruído necessário para distorcer o sinal, foi bem superior ao do exemplo (b1). Isso se deve ao fato de que, a função geradora, representada pela equação (10) é mais robusta que a função geradora representada pela equação (7). Essa

robustez está ratificada pelas características da função, como por exemplo, o seu domínio de existência, o número de raízes apresentadas por ela e o seu ponto ótimo.

Verifica-se no exemplo (b2) que, com o aumento da magnitude do ruído, a resolução do sinal fica comprometida, pois as propriedades realçadas com as SF, como a amplitude, ficam imprecisas, podendo levar a uma leitura, completamente, imprecisa a respeito do sinal.

Observando a Figura (6) percebe-se que, a uma magnitude na faixa de 5×10^{-1} , as SF conseguem representar o sinal gerado pela função (10). Contudo, com uma magnitude $R \geq 30 \times 10^{-1}$, as SF não ajustam os dados da função (10), pois o nível de ruído está impedindo o tráfego de informações gerados pela função.

6. Discussões

As argumentações foram relatadas pelos discentes que aplicaram os códigos-fonte no estudo do PDS. Eles detectaram que:

-  O código permitiu associar os conhecimentos desenvolvidos nas disciplinas de Programação, Métodos Quantitativos e Física. Apresentando uma escrita simples que atrelado a fácil sintaxe da linguagem Python, tornou a ferramenta um grande aditivo para estudar. Mesmo para alguém que não conheça a linguagem Python, mas possua um conhecimento básico de programação, é possível compreender rapidamente como a ferramenta funciona.
-  O código está bem organizado, com comentários explicando o passo-a-passo, e com funções simples de compreender.
-  A experiência usando o código foi um pouco confusa no começo, devido não ter estudado as Séries de Fourier. Contudo, após lembrar sobre os assuntos de ondulatória estudados em Física, o código começou a ficar mais claro e fazer mais sentido. Comprovou-se que o seu uso em sala de aula, como ferramenta de ensino foi bastante útil para todos os alunos de curso técnico e será essencial em um curso superior de computação.
-  Os resultados analíticos gerados no console do Python, inicialmente, pareciam confusos. Entretanto, ao se analisar os resultados gráficos, as análises se complementaram, pois foi possível associar a equação gerada pelas Séries de Fourier à representação gráfica do sinal.
-  A possibilidade de inserir vários modelos para a função geradora $f(t)$, faz com que o aluno possa verificar as diversas possibilidades e características de um sinal na sua forma analítica e na forma gráfica.
-  Durante as simulações verificamos, o que pareciam ser, alguns problemas: quando o número de harmônicos era muito grande, $n = 1000$, por exemplo, o tempo de simulação ficou muito elevado. Contudo, percebeu-se que isso se deve ao fato de que as SF estejam exigindo muita carga computacional.

7. Conclusões

O presente artigo foi conduzido a partir das experiências bem sucedidas realizadas no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – *Campus Ananindeua*.

Fundamentados nas leituras dos Projetos Pedagógicos dos Cursos (PPC) Técnicos em Informática, na modalidade Subsequente, constatou-se que, não há uma disciplina que trabalhe com o Processamento Digital de Sinais (PDS). Sabe-se que essa área é estudada nos cursos superiores de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação, pois a análise dos sinais requer um conhecimento do Cálculo Diferencial e Integral. Contudo, seria possível ensinar sobre a produção e a propagação de sinais sem requerer, dos discentes, um conhecimento específico de Matemática? A resposta é sim. E foi executado.

O impulso inicial ocorreu mediante as circunstâncias dos ensinamentos sobre redes de computadores, segurança da informação, redes sem fio, manutenção de computadores e os demais temas que relacionam o processamento de sinais. Como o aluno, do curso de informática, dominaria essas áreas sem a percepção do PDS? Esse impulso foi essencial para motivar o grupo de pesquisa Gradiente de Modelagem Matemática e Simulação Computacional – GM²SC, a desenvolver uma metodologia capaz de ensinar o PDS, sem carga da Matemática Superior.

A ferramenta incrementada utilizou a Linguagem PYTHON de Programação para simular, computacionalmente, os modelos matemáticos conhecidos por Séries de Fourier (SF). As SF foram estabelecidas em dois *scripts*, *4YER_01* e *4YER_02*. Esses códigos-fonte são os responsáveis por simular o PDS baseado nas SF.

Esse mecanismo metodológico favoreceu o processo de ensino-aprendizagem dos discentes nas áreas em que, a análise dos sinais é essencial. Os discentes avaliaram as principais características dos sinais, como por exemplo, amplitude e frequência, assim como as variáveis que controlam a produção e a propagação dos sinais, como por exemplo, o número de harmônicos e o período de oscilação.

O objetivo proposto no PPC desse curso, de trabalhar a disciplina de PDS, foi alcançado pelo fato de os institutos federais se proporem a formar não somente "tecnicistas", mas profissionais críticos e capazes de compreender os princípios das tecnologias que estão inseridos. Além do fato de, como a proposta dos institutos federais é trabalhar a verticalização do ensino, pelo relato dos alunos egressos destes curso, que cursaram ou cursam cursos superiores nas áreas de Engenharia da Computação ou afins, encontraram maior facilidade de aprendizagem nas disciplinas de processamento de sinais ou de análises de sistemas lineares por já saírem com o "sentimento" de compreensão da relevância de se trabalhar com sinas no domínio da frequência e suas aplicações tecnológicas atuais.

Com o êxito da experiência, o ensino de PDS passou a fazer parte do PPC do curso Técnico de Informática, na categoria Subsequente. Essa disciplina complementa os demais temas da área de computação e oferece ao discente uma expertise que o qualifica, com excelência, ao mercado de trabalho e à área da pesquisa e da inovação, possibilitando a expansão da sua realidade.

Referências

- CAMPOS, Beliato Santana; MOTA, Bruno Santos; SANTOS, Gabriel Leví Carvalho Alves dos; SOUZA, João Pedro Amorim de; OLIVEIRA, Matheus Santos de. **Princípio de Pascal: aplicação dos Estudos dos Sistemas Hidráulicos Inovando o Processo de Ensino e Aprendizagem em Salda de Aula**. Anais do Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação - Águas de Lindóia - SP, 2019. ISSN: 2674-5526 - DOI: 10.29327/15319. <https://www.even3.com.br/anais/sengi2019/>. 2019.
- COSTA, Denis Carlos Lima; COSTA, Heictor Alves de Oliveira; NEVES, Lucas Pompeu. **Métodos Matemáticos Aplicados nas Engenharias via Sistemas Computacionais**. Coleção I – SINEPEM 2019. ISBN 978-85-62855-93-1 (V. 02). ISBN 978-85-62855-87-0 (Coleção). Copyright @ 2019 by SINEPEM 1ª edição. Belém – Pará – Brasil. 2019.
- IBRAHIM, Dogan. **Teaching digital signal processing**. Elsevier: Procedia - Social and Behavioral Sciences 46 (2012) 4441 – 4445. Doi: 10.1016/j.sbspro.2012.06.271. 2012.
- LUO, Guo. **A MATLAB-based biomedical signal de-noising applied to digital signal processing course for third-year students**. International Journal of Electrical Engineering Education. DOI: 10.1177/0020720918780843. 2018.
- MAGALHÃES, Daiane Francis Oliveira de; SILVA, Solange Maria da. **A Importância de inovar o processo de ensino e aprendizagem com espaços dedicados ao ensino prático que contribua como facilitador da prática profissional**. Anais do Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação - SENGI. Guaratinguetá - São Paulo, maio de 2018. ISBN: 978-85-5722-092-8 - DOI: 10.29327/15979. <https://www.even3.com.br/anais/sengi2018/>. 2018.
- MARIN, Sergio L. Toral; GARCIA, Federico J. Barrero; TORRES, Rocío Martinez. **Analysis of utility and use of a web-based tool for digital signal processing teaching by means of a technological acceptance model**. Elsevier: Computers & Education 49 (2007) 957–975. DOI:10.1016/j.compedu.2005.12.003. 2007.
- MUJICA, Fernando A.; ESPOSITO, William J.; GONZALEZ, Alex; Qi, Charles R.; VASSOS, Chris; Wieman, MAISY; WILCOX, Reggie; KOVACS, Gregory T. A.; SCHAFER, Ronald W. **Teaching Digital Signal Processing with Stanford's Lab-in-a-Box**. IEEE: Signal Processing and Signal Processing Education Workshop (SP/SPE). 2015.
- REIS, Alice Oliveira; CAMPOS, Beliato Santana; SANTOS, Carol Cavalcante dos; MAIS, Lorena Santos; PORTELA, Marcella Santos de Lima. **A Mecânica dos Harmônicos – Cordas Vibrantes nas Aulas de Física**. Anais do Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação - Águas de Lindóia - SP, 2019. ISSN: 2674-5526 - DOI: 10.29327/15319. <https://www.even3.com.br/anais/sengi2019/>. 2019.
- RIOS, Juliana; CÉSAR, Francisco I. Giocondo. **EDUCAÇÃO 4.0 – Educação em tempos da 4ª Revolução Industrial, necessidade de um novo olhar para a educação: um estudo de caso**. Anais do Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação - Águas de Lindóia - SP, 2019. ISSN: 2674-5526 - DOI: 10.29327/15319. <https://www.even3.com.br/anais/sengi2019/>. 2019.
- WEINTROPA, David; WILENSKYB, Uri. **Transitioning from introductory block-based and text-based environments to professional programming languages in high school computer science classrooms**. Elsevier: Computers & Education 142 (2019) 103646. DOI:10.1016/j.compedu.2019.103646. 2019.

Apêndice

Repositório GitHub → <https://github.com/gm2sc-ifpa/4YER>

Script 4YER_01 → https://github.com/gm2sc-ifpa/4YER/blob/master/4YER_01.py

Script 4YER_02 → https://github.com/gm2sc-ifpa/4YER/blob/master/4YER_02.py