



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Departamento de Engenharia Elétrica
Disciplina de Automação Inteligente

Miguel Marques Ferreira

Rafael Pereira do Nascimento

Orientador: Prof. Dr. Juan Moises Mauricio Villanueva

Projeto de um Amplificador Usando Estratégias Evolutivas Avaliação 03



João Pessoa - PB

Abril, 2024

Miguel Marques Ferreira
Rafael Pereira do Nascimento
Orientador: Prof. Dr. Juan Moises Mauricio Villanueva

Projeto de um Amplificador Usando Estratégias Evolutivas

Avaliação 03

Relatório técnico apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Automação Inteligente, graduação em Engenharia Elétrica.

Universidade Federal da Paraíba – UFPB
Centro de Energias Alternativas e Renováveis – CEAR
Departamento de Engenharia Elétrica – DEE
Disciplina de Automação Inteligente

João Pessoa - PB
Abril, 2024

Sumário

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 3 |
| 2 | DESENVOLVIMENTO | 4 |
| 2.1 | Análise do circuito | 4 |
| 2.2 | Algoritmo genético | 6 |
| 2.2.1 | Função objetivo para o problema 1 | 7 |
| 2.2.2 | Função objetivo para o problema 2 | 7 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 8 |
| 3.1 | Problema 1 | 8 |
| 3.1.1 | Valores de resistência e capacitância por geração | 8 |
| 3.1.2 | Simulação do problema 1 com os resultados do AG | 11 |
| 3.2 | Problema 2 | 12 |
| 3.2.1 | Valores de resistência e capacitância por geração | 13 |
| 3.2.2 | Corrente drenada da fonte por geração | 15 |
| 3.2.3 | Simulação do problema 2 com os resultados do AG | 15 |
| 4 | CONCLUSÃO | 18 |
| | REFERÊNCIAS | 19 |

1 Introdução

Os algoritmos genéticos são uma classe poderosa de técnicas de otimização inspiradas no processo de evolução natural. Eles têm sido amplamente aplicados em uma variedade de campos, incluindo a otimização de circuitos eletrônicos.

Nessa conjuntura, a complexidade crescente dos circuitos eletrônicos modernos demanda abordagens eficazes para encontrar soluções otimizadas que atendam a critérios específicos, como minimização de consumo de energia, maximização de desempenho ou redução de área ocupada. Assim, os algoritmos genéticos oferecem uma abordagem promissora, capaz de explorar um amplo espaço de soluções potenciais de forma eficiente e adaptativa.

Neste trabalho, será explorada uma abordagem evolutiva para a resolução de um circuito amplificador a fim de verificar a aplicação de algoritmos genéticos para resolver problemas de otimização em circuitos eletrônicos, destacando suas vantagens, desafios e aplicações relevantes.

Ademais, esta atividade consiste na avaliação da terceira unidade da disciplina de Automação Inteligente do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

2 Desenvolvimento

Para o circuito amplificador da [Figura 1](#), foram analisadas as tensões de nó, bem como o ganho do amplificador para determinar os valores de R1, R2, RE, C e CE de tal forma que o ganho do amplificado na saída emissora tivesse valor próximo a 2000 V/V para o primeiro problema.

De forma semelhante, para o segundo problema desejava-se que o ganho do amplificado na saída emissora tivesse valor próximo a 2000 V/V, porém com uma menor corrente da fonte DC. O ganho foi calculado a partir da relação entre a saída e entrada do circuito.

$$Ganho = \frac{V_5}{V_1} \quad (2.1)$$

2.1 Análise do circuito

Um circuito amplificador ilustrado na [Figura 1](#) é constituído de transistores, resistores e capacitores. Esse é um dispositivo eletrônico projetado para aumentar a amplitude de um sinal elétrico, seja ele de áudio, rádio frequência (RF), ou qualquer outro tipo de sinal. Os transistores utilizados são componentes semicondutores essenciais nesses circuitos, e podem ser de dois tipos principais: transistores bipolares de junção (BJTs) e transistores de efeito de campo (FETs). No circuito da [Figura 1](#), será considerado um dispositivo transistor BJT.

Figura 1 – Circuito amplificador.

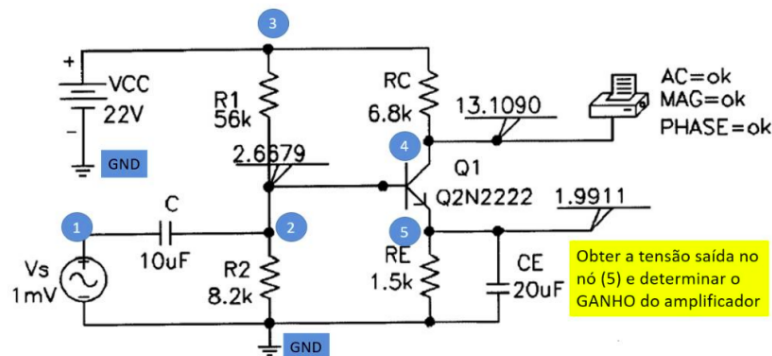


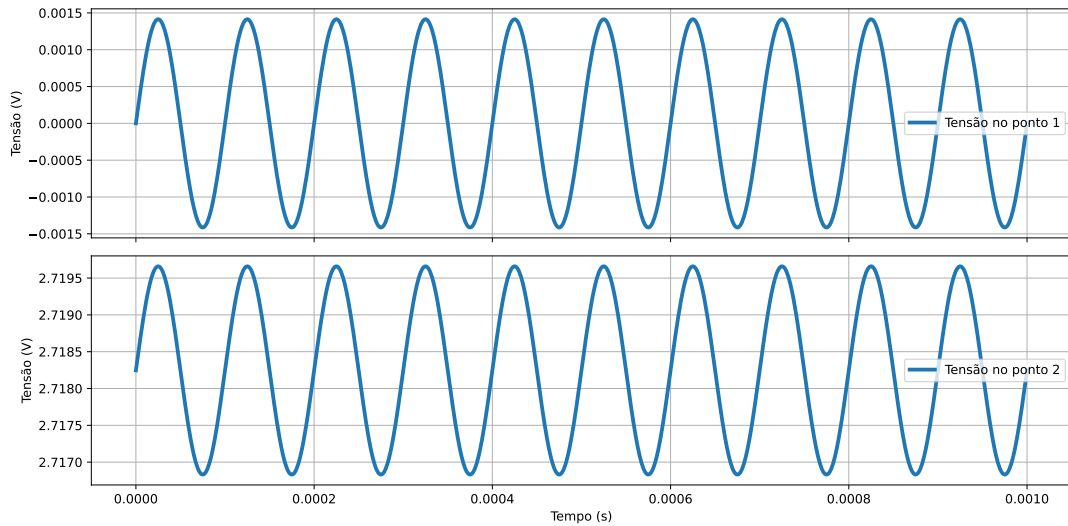
Figura 1. Circuito Amplificador com ganho 2000

Fonte: Material disponibilizado pelo professor.

Inicialmente, fez-se uso da biblioteca PySpice para a resolução e simulação do circuito da [Figura 1](#). O PySpice é um módulo Python de código aberto que fornece uma interface Python para os simuladores de circuito Ngspice e Xyce ([SALVAIRE, 2017](#)).

Para o circuito ilustrado na [Figura 1](#), as tensões de nó 1 e 2 encontradas por meio de uma simulação transiente de 1 milissegundo ao passo de 0.5 microssegundo está disponível na [Figura 2](#).

Figura 2 – Valores de tensão nos pontos 1 e 2.

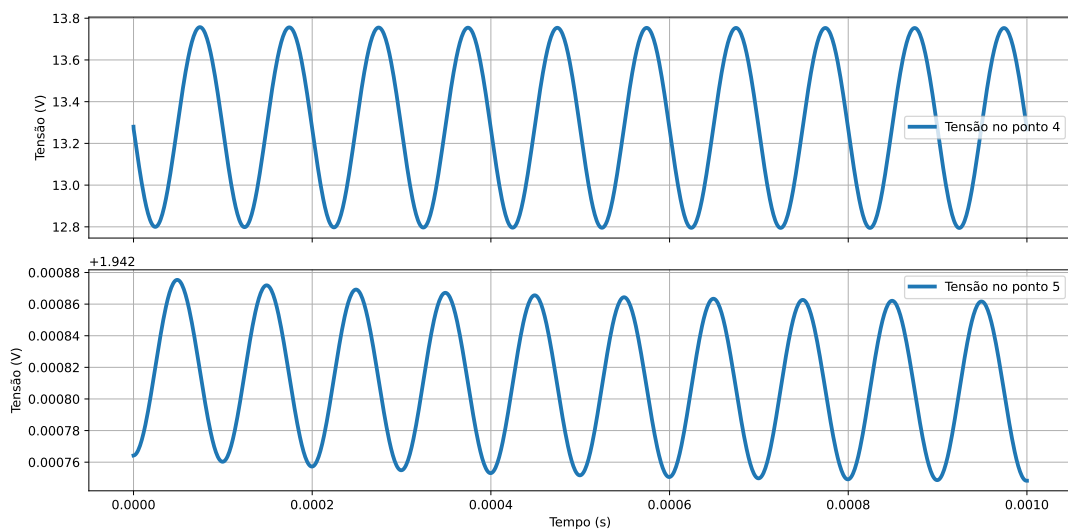


Fonte: Autoria própria.

Analogamente, as tensões de nó 4 e 5 encontradas por meio de uma simulação transiente de 1 milissegundo ao passo de 0,5 microssegundo está disponível na [Figura 3](#).

Destaca-se que não foi necessário ilustrar a tensão no ponto 3 do [Figura 1](#), uma vez que a tensão no nó 3 corresponde ao mesmo nível de tensão da fonte DC de alimentação de 22 V.

Figura 3 – Valores de tensão nos pontos 1 e 2.



Fonte: Autoria própria.

2.2 Algoritmo genético

Inspirados na Evolução, os algoritmos genéticos são uma família de algoritmos de busca que imitam o processo de seleção natural e reprodução. Esses, podem ser utilizados para encontrar soluções de alta qualidade para problemas de pesquisa, otimização e aprendizagem.

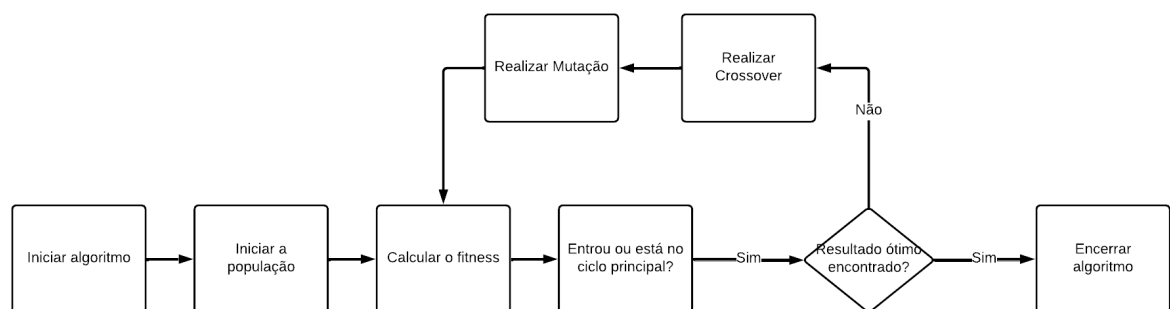
Ao mesmo tempo, sua analogia com a evolução natural permite algoritmos para superar alguns dos obstáculos encontrados pela pesquisa tradicional e algoritmos de otimização, especialmente para problemas com um grande número.

Os algoritmos genéticos são uma classe específica de algoritmos que usam técnicas inspiradas em biologia evolutiva, como herança, mutação, seleção e cruzamento (também chamado de recombinação).

Nesse contexto, têm aplicações em problemas com representações matemáticas complexas, problemas sem representação matemática e ambientes que mudam com o tempo.

A [Figura 4](#) ilustra o fluxo de execução do algoritmo genético desenvolvido com a linguagem de programação Python para otimizar os valores dos componentes resistivos e capacitivos a fim de obter um ganho de 2000 V/V entre o nó 1 e nó 5 do circuito amplificador.

Figura 4 – Fluxograma do algoritmo genético com Python.



Fonte: Autoria própria.

Com base na [Figura 4](#), para os dois problemas, a execução do algoritmo consistiu na definição da população inicial de soluções candidatas e o cálculo da pontuação o indivíduo com base na função objetivo. Posteriormente, inicia-se o ciclo de otimização principal, onde os indivíduos são reorganizados visando minimizar o valor da função objetivo a partir do cruzamento e da mutação desses até que o número máximo de geração seja alcançado.

Por outro lado, foi configurada uma paciência como critério de parada da otimização. Tal critério consiste em verificar se houve melhora no valor mínimo da função objeto para

o melhor indivíduo, caso isso não aconteça, a otimização para antes de atingir o número máximo de gerações configurada.

Os parâmetros do algoritmo, para os dois problemas, consistia em uma população inicial de 15 indivíduos, cada um deles representado por um cromossomo de 6 genes, os quais representam os elementos R1, R2, RC, RE, C e CE, respectivamente. Além disso, o número de pais igual a 9 representa a quantidade de indivíduos que serão selecionados para a próxima geração, bem como os indivíduos elegíveis para reprodução. Com isso, determinamos o número de descendentes como 6, calculando a diferença entre a população total e o número de pais.

A taxa de cruzamento em 0,4, o que significa que haverá uma alta probabilidade de recombinação genética entre os pais selecionados. A taxa de mutação foi estabelecida em 0,08, garantindo um nível mínimo de diversidade genética na população. Além disso, definimos o número de variáveis a serem analisadas e especificamos os intervalos de valores para cada uma dessas variáveis.

Para reduzir o espaço de busca do programa em relação aos valores de resistências e capacitores, foram implementadas restrições específicas para cada componente do problema. Dessa forma, a resistência R1 foi limitada em uma faixa de 45 a 100 $k\Omega$, enquanto as resistências R2 e RC foram limitadas a um intervalo de 1 a 10 $k\Omega$. A resistência RE foi restringida a um intervalo de 1 a 3 $k\Omega$. Por fim, estabelecemos os capacitores C e CE em um intervalo de 1 a 20 μF .

Essas restrições foram determinadas com base em conhecimentos adquiridos na disciplina de dispositivos eletrônicos, juntamente com os resultados e avaliações obtidos inicialmente pelo circuito. Essa abordagem focada permite que o modelo faça uma busca mais eficiente por soluções em um espaço de busca reduzido e, sobretudo, diminui o tempo de busca pela melhor solução.

2.2.1 Função objetivo para o problema 1

$$f(gain)_{min} = (2000 - gain)^2 \quad (2.2)$$

2.2.2 Função objetivo para o problema 2

$$f(gain)_{min} = (2000 - gain)^2 + I_s^2 \quad (2.3)$$

Com I_s

$$I_s = I_{R1} + I_{RC} = \frac{22 - V_2}{R1} + \frac{22 - V_5}{RC} \quad (2.4)$$

3 Resultados e Discussão

3.1 Problema 1

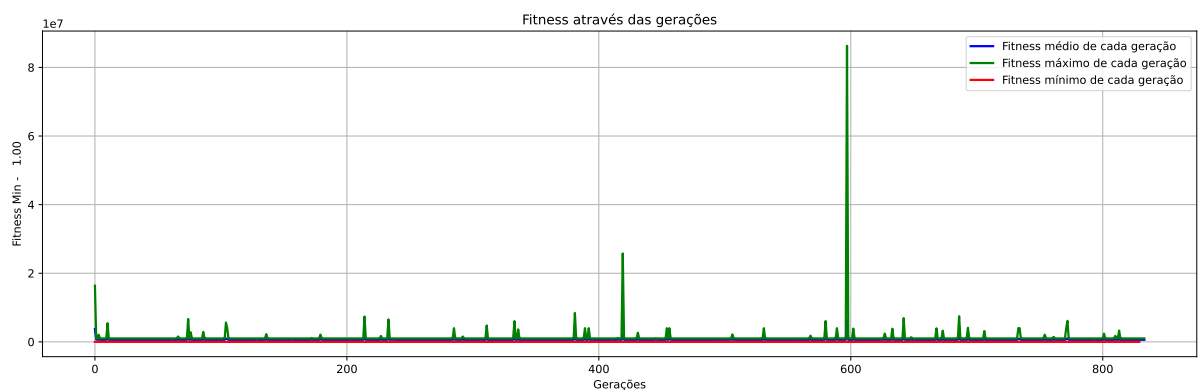
Os gráficos apresentados nas Figuras 5 e 6 mostram a evolução das pontuações por geração para o problema 1. Observamos uma clara tendência de melhoria ao longo das gerações, indicando a eficácia do algoritmo genético na busca pela melhor solução.

Figura 5 – Menor pontuação por geração para o problema 1.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 – Pontuações por geração para o problema 1.



Fonte: Autoria própria.

3.1.1 Valores de resistência e capacitância por geração

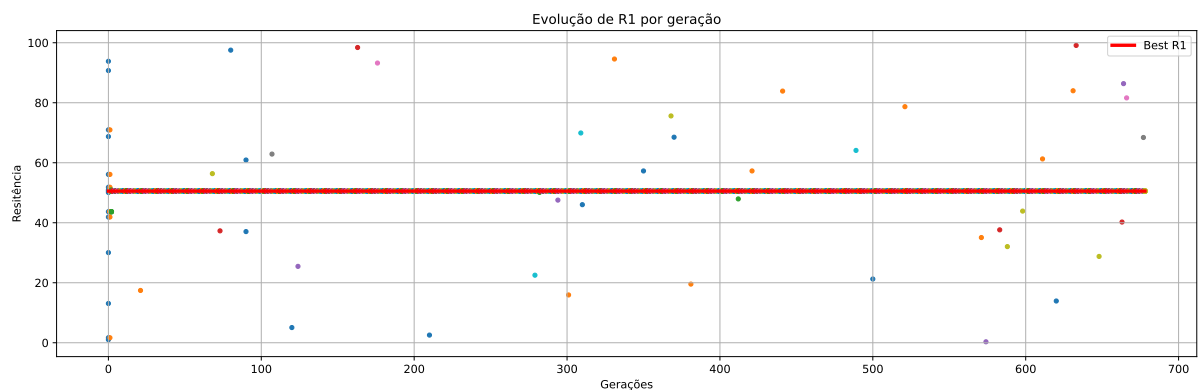
As Figuras de 7 a 12 mostram a evolução dos valores dos componentes (resistores e capacitores) ao longo das gerações, fornecendo *insights* valiosos sobre o processo de

otimização conduzido pelo algoritmo genético.

Notavelmente, os valores de R1, R2 e RC demonstram pequenas variações ao longo das iterações, sugerindo uma estabilidade relativa nesses componentes que compõe o divisor resistivo na entrada do amplificador e a limitação de corrente no coletor do BJT utilizado. No entanto, destaca-se que o resistor RE emerge como o componente mais dinâmico e influente para o problema, apresentando as maiores variações ao longo do processo de otimização. Essa observação ressalta a importância do resistor RE no circuito e sua relevância para alcançar o ganho de 2000.

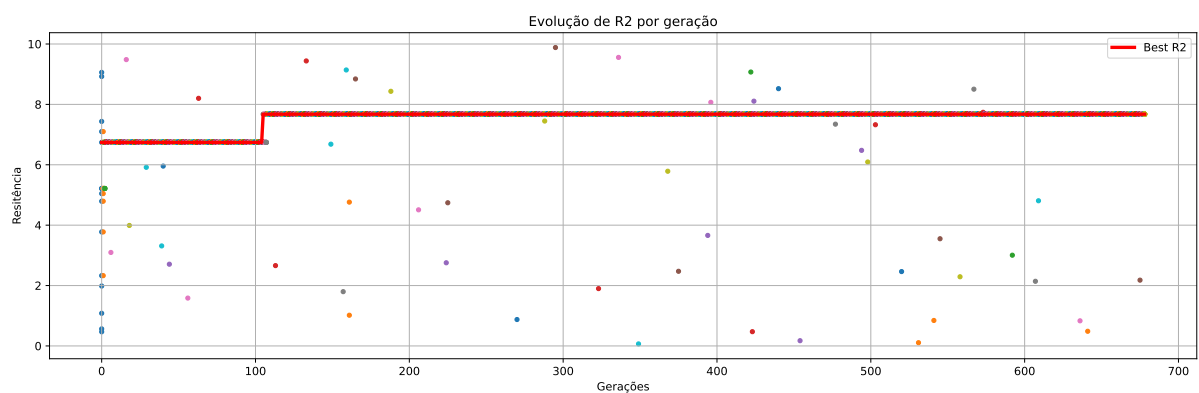
Além disso, nas Figuras de 7 a 12 é possível visualizar a ocorrência de mutações ao longo das gerações, enquanto a curva vermelha indica a permanência dos indivíduos com melhor adaptação durante o processo de otimização.

Figura 7 – Valores de resistores R1 testados pelo AG por geração.



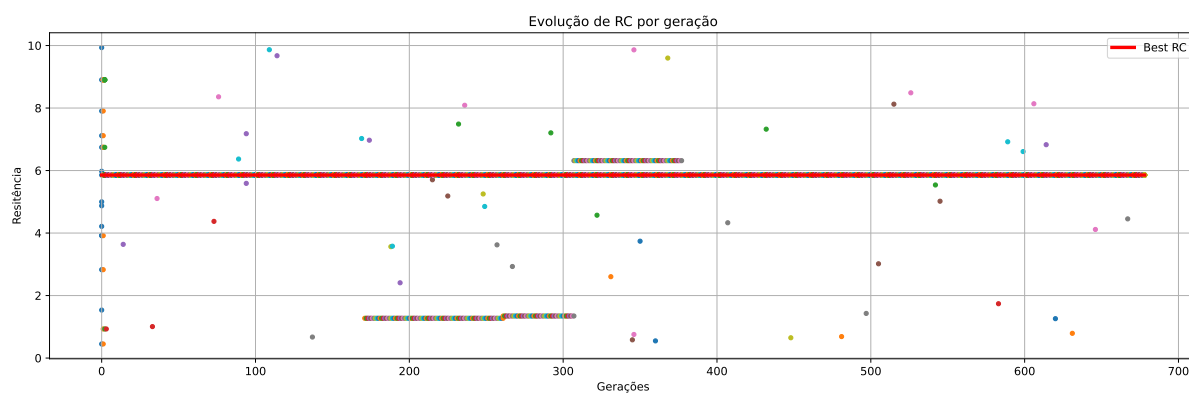
Fonte: Autoria própria.

Figura 8 – Valores de resistores R2 testados pelo AG por geração.



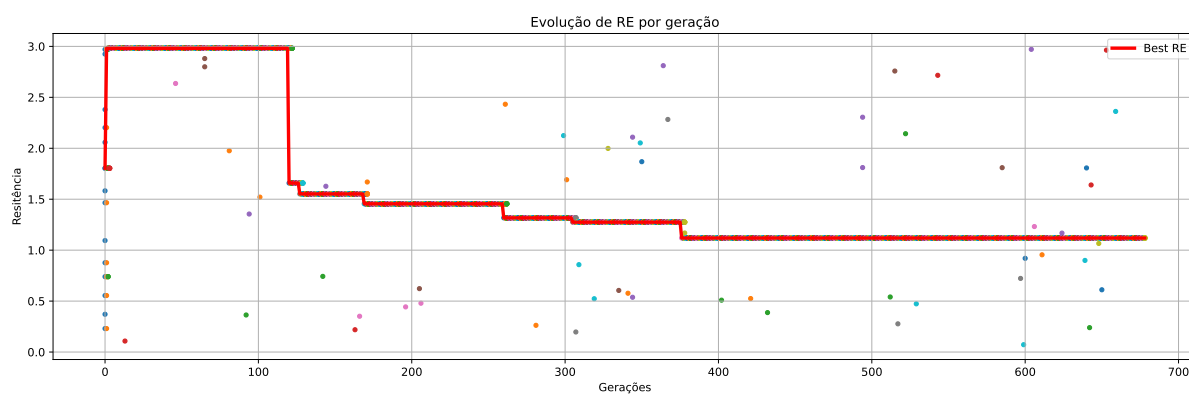
Fonte: Autoria própria.

Figura 9 – Valores de resistores RC testados pelo AG por geração.



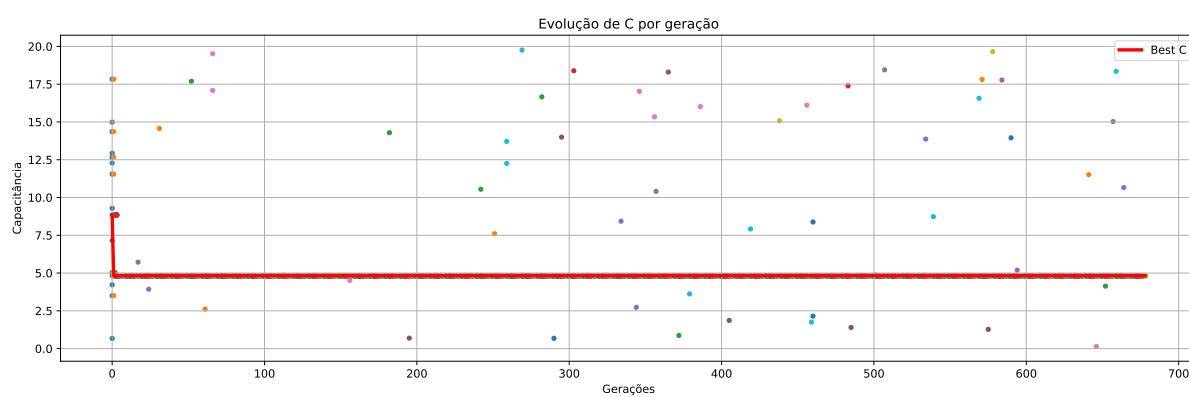
Fonte: Autoria própria.

Figura 10 – Valores de resistores RE testados pelo AG por geração.



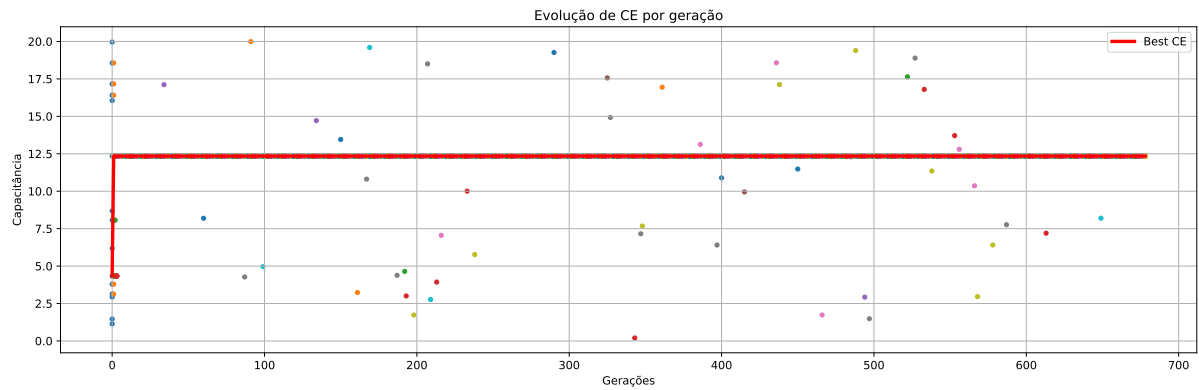
Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Valores de resistores C testados pelo AG por geração.



Fonte: Autoria própria.

Figura 12 – Valores de resistores CE testados pelo AG por geração.

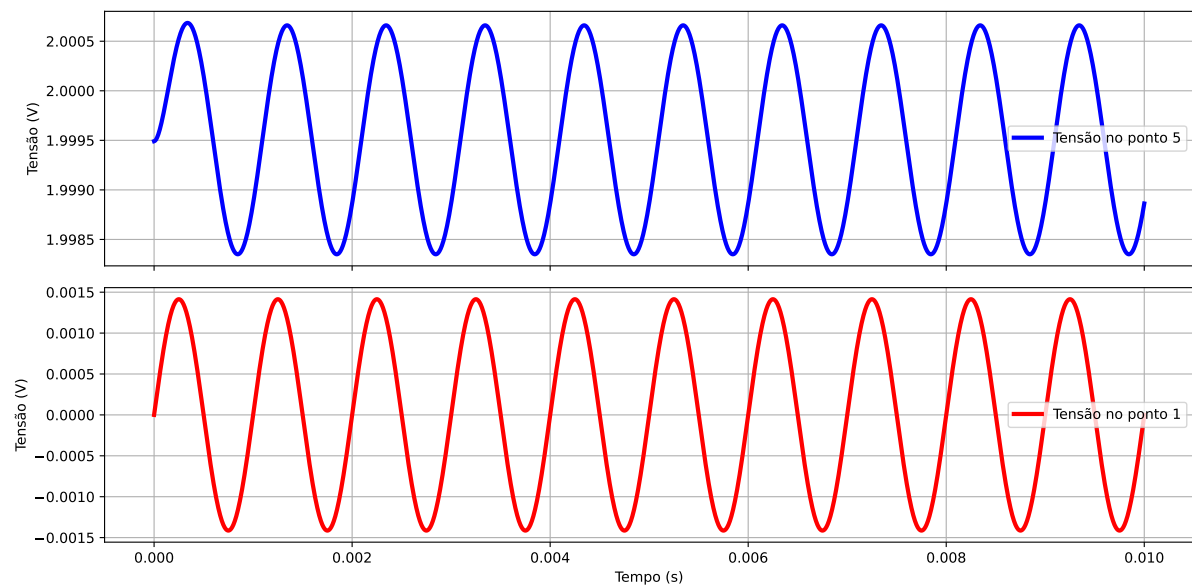


Fonte: Autoria própria.

3.1.2 Simulação do problema 1 com os resultados do AG

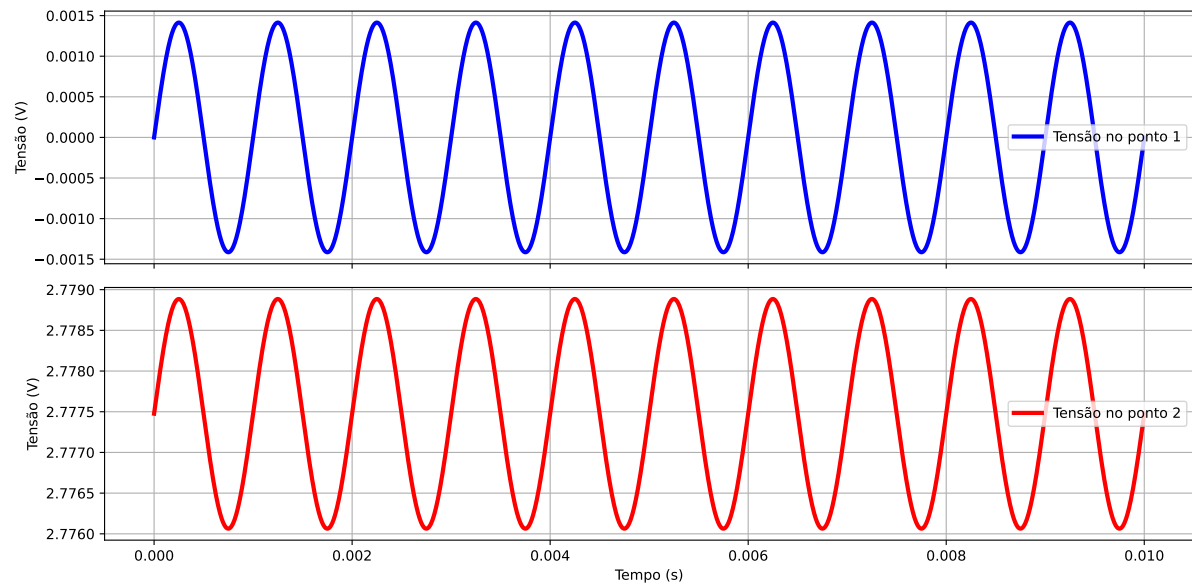
As Figuras 13 e 14 ilustram as simulações do circuito amplificador utilizando os melhores valores encontrados pelo algoritmo genético. Os pontos 1 e 5 nessas figuras representam o ganho de tensão desejado entre os nós específicos do circuito. Ao analisarmos os resultados das simulações, fica evidente que os valores obtidos estão em conformidade com os objetivos estabelecidos para o problema.

Figura 13 – Simulação do circuito amplificador com os valores ótimos encontrados pelo AG. Pontos 1 e 5.



Fonte: Autoria própria.

Figura 14 – Simulação do circuito amplificador com os valores ótimos encontrados pelo AG. Pontos 1 e 2.



Fonte: Autoria própria.

3.2 Problema 2

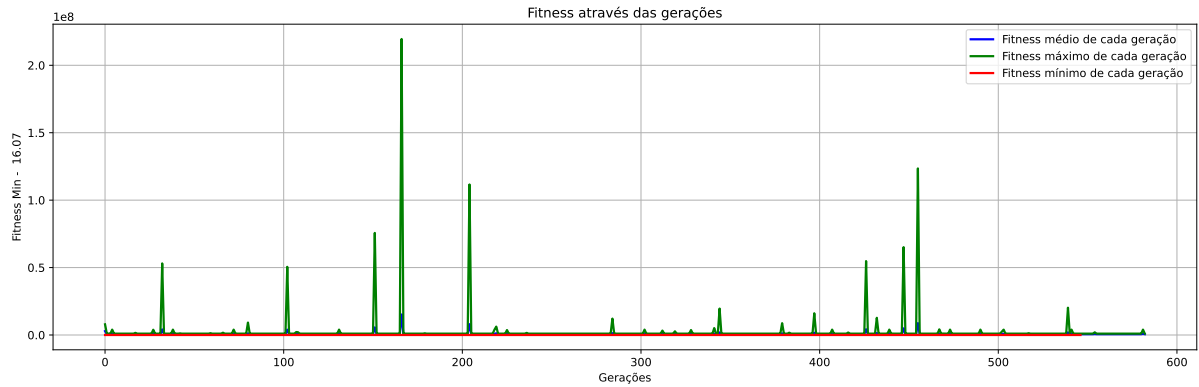
Os gráficos apresentados nas Figuras 15 e 16 mostram a evolução das pontuações por geração para o problema 2. Observamos uma clara tendência de melhoria ao longo das gerações, indicando a eficácia do algoritmo genético na busca por soluções ótimas.

Figura 15 – Menor pontuação por geração para o problema 2.



Fonte: Autoria própria.

Figura 16 – Pontuações por geração para o problema 2.



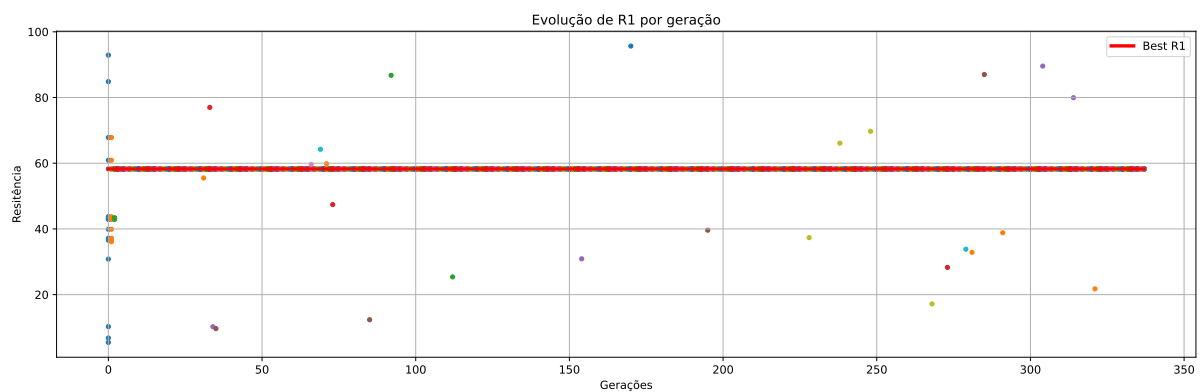
Fonte: Autoria própria.

3.2.1 Valores de resistência e capacitância por geração

As Figuras de 17 a 22 mostram a evolução dos valores dos componentes (resistores e capacitores) ao longo das gerações, fornecendo *insights* valiosos sobre o processo de otimização conduzido pelo algoritmo genético.

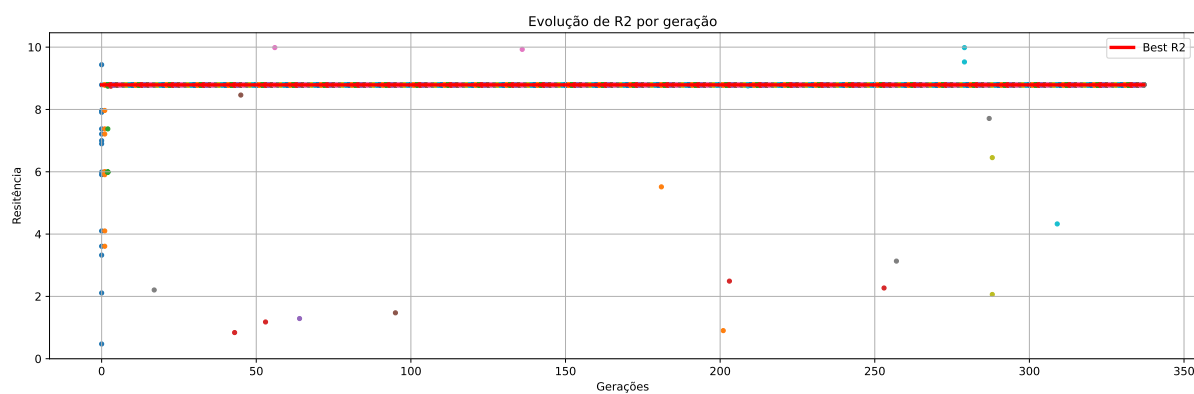
Notavelmente, os valores de R1 e R2 demonstram pequenas variações ao longo das iterações, sugerindo uma estabilidade relativa nesses componentes. No entanto, destaca-se que o resistor RE e RC emerge como o componente mais dinâmico e influente para o problema, apresentando as maiores variações ao longo do processo de otimização. Essa observação ressalta a importância do resistor RE no circuito e sua relevância para alcançar o ganho de 2000, bem como minimizar a corrente do circuito.

Figura 17 – Valores de resistores R1 testados pelo AG por geração.



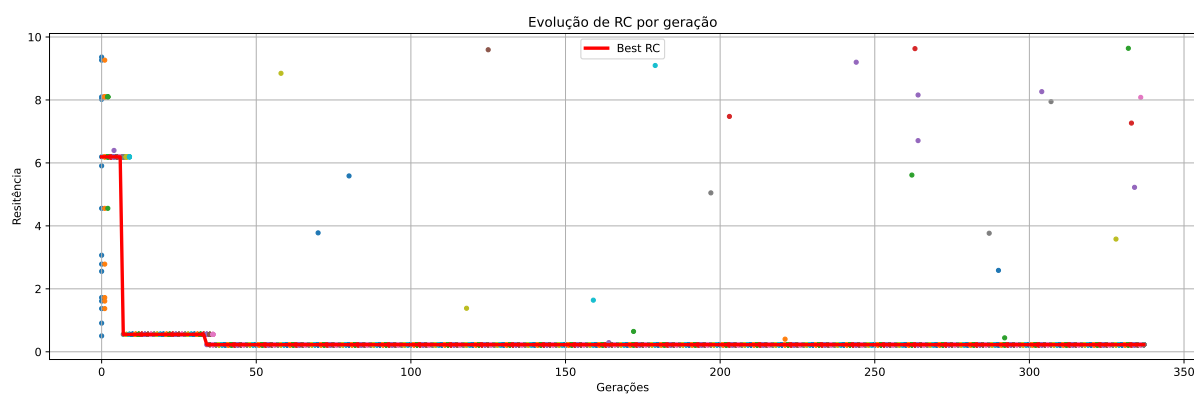
Fonte: Autoria própria.

Figura 18 – Valores de resistores R2 testados pelo AG por geração.



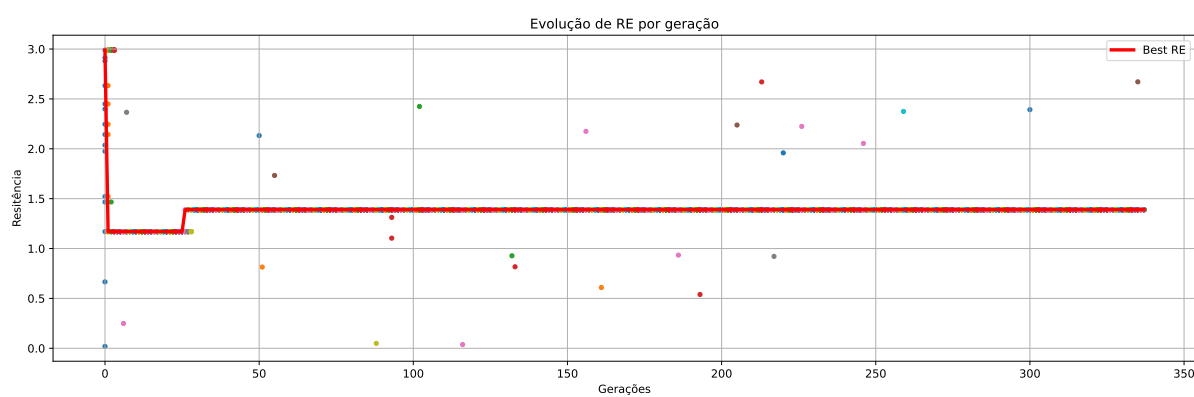
Fonte: Autoria própria.

Figura 19 – Valores de resistores RC testados pelo AG por geração.



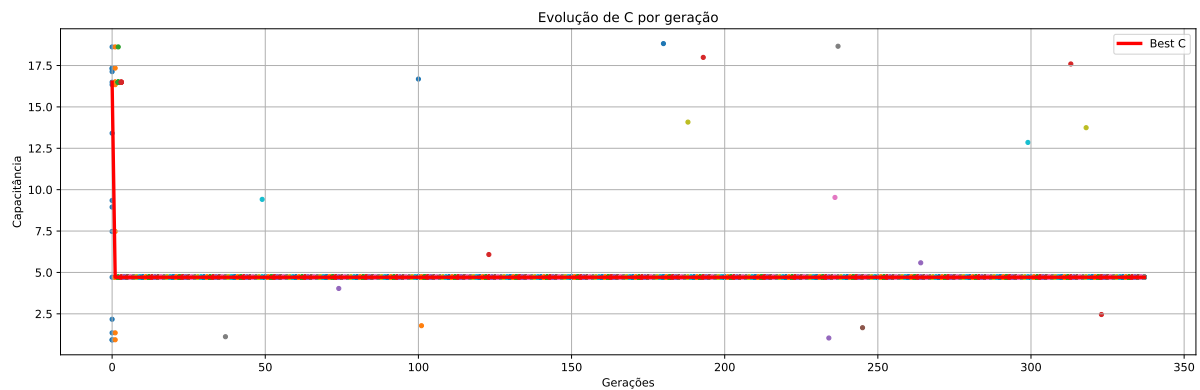
Fonte: Autoria própria.

Figura 20 – Valores de resistores RE testados pelo AG por geração.



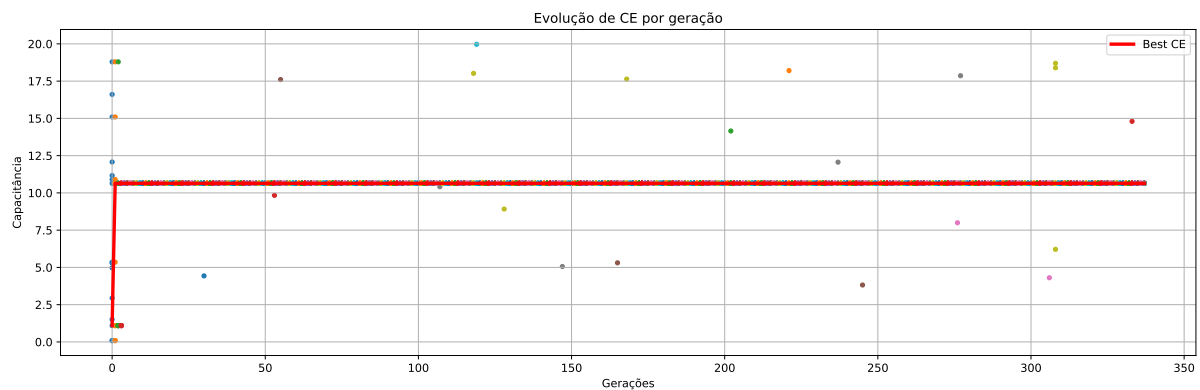
Fonte: Autoria própria.

Figura 21 – Valores de resistores C testados pelo AG por geração.



Fonte: Autoria própria.

Figura 22 – Valores de resistores CE testados pelo AG por geração.



Fonte: Autoria própria.

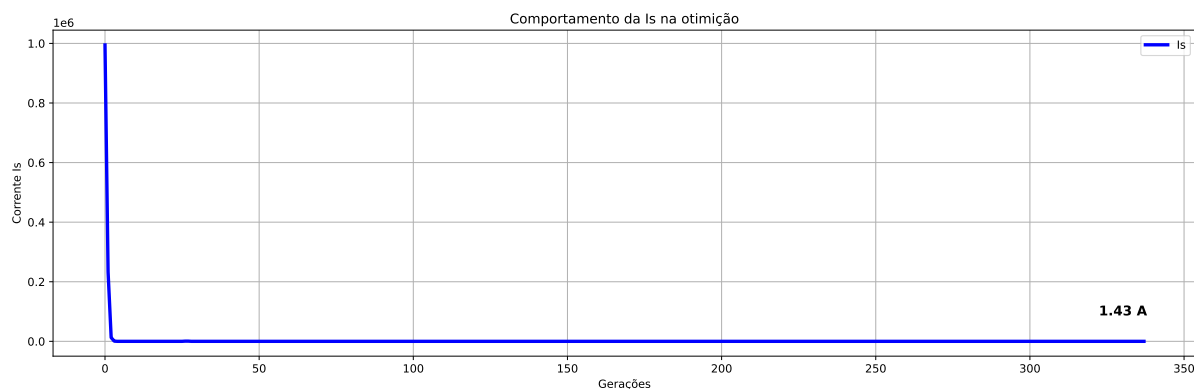
3.2.2 Corrente drenada da fonte por geração

A Figura 23 apresenta a variação da corrente drenada da fonte ao longo das gerações, representada pelo melhor indivíduo identificado em cada iteração do algoritmo genético. Essa visualização nos oferece insights valiosos sobre a eficácia do modelo em encontrar valores de componentes que possam melhorar a eficiência do amplificador, ao mesmo tempo em que mantém o ganho próximo do valor desejado de 2000.

3.2.3 Simulação do problema 2 com os resultados do AG

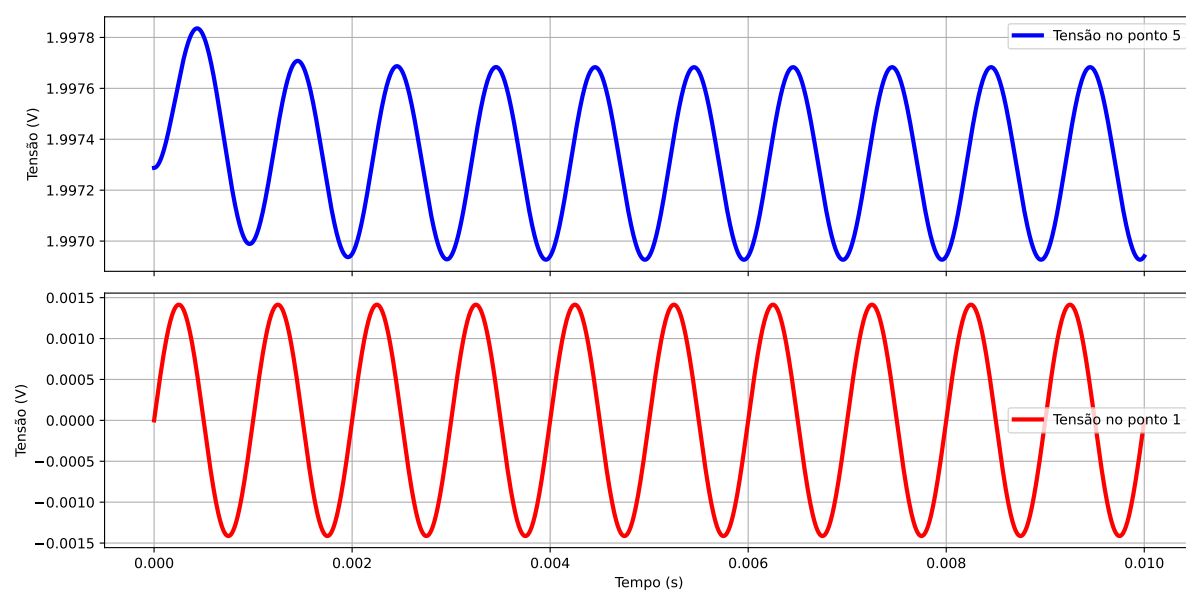
As Figuras 24 e 25 ilustram as simulações do circuito amplificador utilizando os melhores valores encontrados pelo algoritmo genético. Os pontos 1 e 5 nessas figuras representam o ganho de tensão desejado entre os nós específicos do circuito. Ao analisarmos os resultados das simulações, fica evidente que os valores obtidos estão em conformidade com os objetivos estabelecidos para o problema.

Figura 23 – Corrente drenada da fonte do melhor indivíduo da geração do AG.



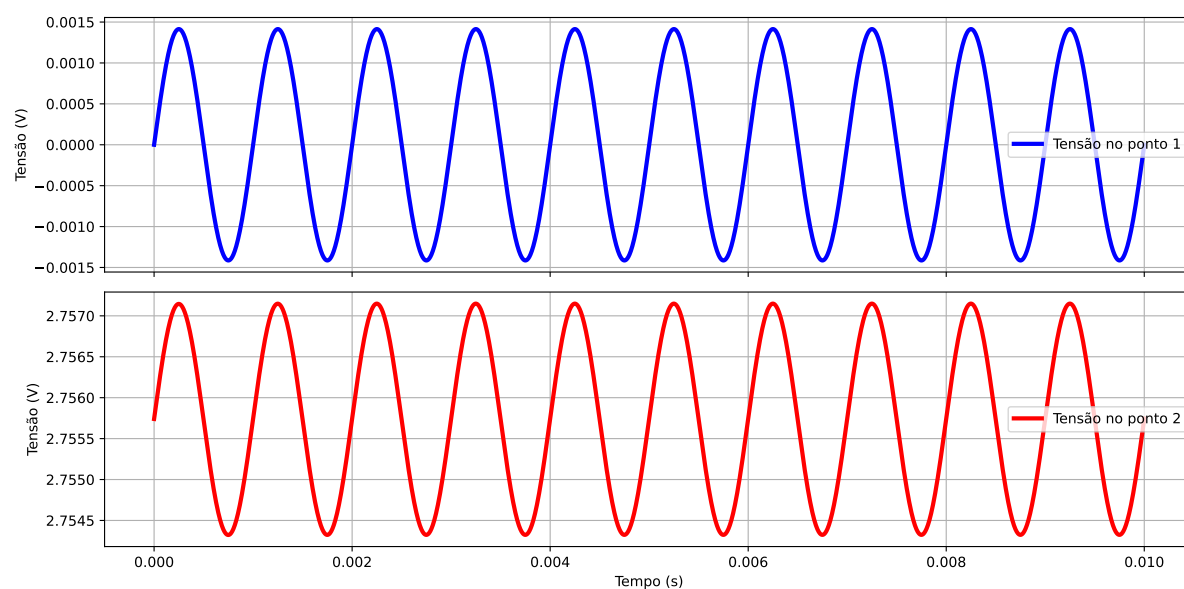
Fonte: Autoria própria.

Figura 24 – Simulação do circuito amplificador com os valores ótimos encontrados pelo AG. Pontos 1 e 5.



Fonte: Autoria própria.

Figura 25 – Simulação do circuito amplificador com os valores ótimos encontrados pelo AG. Pontos 1 e 2.



Fonte: Autoria própria.

4 Conclusão

O trabalho realizado apresenta uma abordagem eficaz e sistemática para a otimização de circuitos amplificadores por meio de algoritmos genéticos. Através da modelagem do problema e da aplicação de restrições cuidadosamente selecionadas para os valores dos componentes, foi possível reduzir significativamente o espaço de busca, permitindo uma busca mais eficiente por soluções ótimas.

Ao utilizar o algoritmo genético implementado com a linguagem de programação Python, foi possível encontrar configurações de resistores e capacitores que proporcionam um ganho de 2000 V/V entre o nó 1 e nó 5 do circuito amplificador. A metodologia adotada permitiu não apenas alcançar os objetivos estabelecidos, mas também superar os desafios encontrados na busca por soluções de alta qualidade em problemas de otimização complexos.

A análise das funções objetivo para os dois problemas abordados no estudo demonstra a capacidade do algoritmo genético em encontrar soluções que atendam não apenas aos requisitos de ganho desejados, mas também às restrições adicionais impostas pelo problema. A inclusão de uma paciência como critério de parada da otimização contribui para a eficiência do algoritmo, garantindo que a busca seja interrompida quando não há mais melhorias significativas no valor mínimo da função objetivo.

Os resultados obtidos neste trabalho são altamente satisfatórios, demonstrando a eficácia e a robustez do método proposto na otimização de circuitos amplificadores. A aplicação de algoritmos genéticos mostra-se uma abordagem promissora para resolver problemas de otimização complexos em engenharia elétrica, oferecendo soluções de alta qualidade e eficiência.

Referências

SALVAIRE, F. *PySpice*. 2017. <<https://pyspice.fabrice-salvaire.fr>>. Citado na página 4.