



Otimização da Transmitância Ótica em Camadas Dielétrico-Metal-Dielétrico via Artificial Bee Colony Algorithm

Universidade Estadual de Campinas
FEEC - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Orientador: Prof. Dr. Gilliard Nardel Malheiros Silveira
Aluno: Lucas Bernardino de Oliveira

Palavras-chave: Otimização, transmitância, ótica, luz, refração, DMD, ABC, colônia, abelhas, enxame, inteligência, meta-heurística

Campinas
05/08/2024

1. Objetivos do projeto

Este trabalho de iniciação científica tem como objetivo estudar e implementar uma meta-heurística específica, denominado algoritmo de colônia artificial de abelhas (*artificial bee colony algorithm* – ABC), para a solução do problema de otimização em ótica cujo objetivo é maximizar a transmitância ótica de luz visível em materiais multicamadas DMD – Dielétrico-Metal-Dielétrico. As motivações por trás do projeto resumem-se em encontrar, para uma dada estrutura DMD, as dimensões ótimas das camadas componentes que tornam o material como um todo transparente do ponto de vista ótico e, também, condutor do ponto de vista elétrico, melhorando assim seu desempenho na aplicação em que se encontra.

2. Desenvolvimento do projeto

2.1 Materiais multicamadas Dielétrico-Metal-Dielétrico

Estruturas DMD extremamente finas podem ser fabricadas por meio de técnicas de deposição química em estado de vapor. A figura a seguir apresenta o esquema geral de uma estrutura DMD cortada perpendicularmente à sua superfície:



Figura 1: Esquema básico de um substrato transparente revestido com uma estrutura DMD. Fonte: autor.

A depender do tipo e da qualidade material que compõem cada camada (podem, por exemplo, conter impurezas) e da espessura de cada camada (considerando que cada camada tem superfície perfeitamente plana) a transmitância ótica do conjunto como um todo pode variar muito. O objetivo da meta-heurística ABC desenvolvida é, então, encontrar para cada camada de um dado material DMD a espessura apropriada que torna o material transparente a luz, ou seja, maximizar a transmitância ótica dentro de um intervalo de comprimento de onda de aproximadamente igual ao da luz visível.

Para o cálculo da transmitância foi utilizado o método das matrizes de transferência, no qual cada camada é considerada como tendo suas superfícies perfeitamente planas e a luz uma onda plana com incidência normal a superfície do material. Uma vez que cada comprimento de onda corresponde a um valor de transmitância, é realizada a soma de valores de transmitância igualmente espaçados dentro do intervalo para otimização.

2.2 Algoritmo de colônia artificial de abelhas

Dervis Karaboga é o criador do algoritmo ABC [1]. Sua elaboração é inspirada no comportamento de forrageamento das abelhas melíferas, sendo considerado dentro da área da computação um algoritmo de inteligência de enxame (*Swarm intelligence* – SI). Essa meta-heurística baseia-se em três componentes básicos: fontes de alimento, forrageadoras empregadas e forrageadoras desempregadas. As fontes de alimento representam a solução do problema de otimização (valor da transmitância no caso deste trabalho), as empregadas exploram ao redor de uma fonte de alimento (buscam por soluções na vizinhança de um ponto) compartilhando informações com outras abelhas e as desempregadas estão ou à espera de informações para decidir por ajudar uma empregada (abelhas observadoras) ou a procura de novas fontes de maneira totalmente aleatória (abelhas batadoras).

A estrutura geral do algoritmo é dada pelos seguintes passos:

Fase de inicialização

REPETIR

Fase de abelhas empregadas

Fase de abelhas observadoras

Fase de abelhas batedoras

Memorização da melhor solução até o momento

Até atingir condição (número de ciclos)

Conforme os ciclos de busca vão sendo concluídos, as abelhas vão trocando informações entre si sobre as fontes já conhecidas (valores de transmitância já calculados em determinados pontos) e o enxame como um todo vai se concentrando nas regiões do espaço de busca onde há soluções mais prováveis (pontos nos quais a transmitância é maior). A melhor solução global é atualizada e memorizada em cada ciclo. No final da busca, o ABC retorna todas as melhores soluções e também as soluções que foram abandonadas durante a execução pelo fato de o ABC não ter tido sucesso em melhorá-las por um número de tentativas denominado de limite. Esse conjunto de soluções retornadas por uma busca do ABC podem ser analisadas por um usuário que decidirá pela solução que julgar mais adequada aos seus interesses.

O algoritmo foi implementado em linguagem *python3* e para executar uma busca de otimização é preciso fornecer os seguintes parâmetros: tamanho da colônia (quantidade total de abelhas), número máximo de abelhas batedoras por ciclo (importante para limitar flutuações aleatórias), limite máximo de tentativas (importante para controlar a exploração de fontes vizinhas) e número máximo de ciclos. Como o algoritmo já está adaptado para o método das matrizes de transferência, é preciso fornecer, na pasta do código fonte, arquivos de texto contendo informações sobre a relação entre o índice de refração de cada camada e o comprimento de onda dentro do intervalo de 300 nm a 800 nm. Para os resultados incorporados na pesquisa, os dados sobre o índice de refração para todos os materiais utilizados foram obtidos por meio do web site *refractiveindex.info* (<https://refractiveindex.info/>).

3. Resultados obtidos

Os gráficos a seguir apresentam os resultados obtidos pelo ABC para distintos materiais DMD imersos em ar.

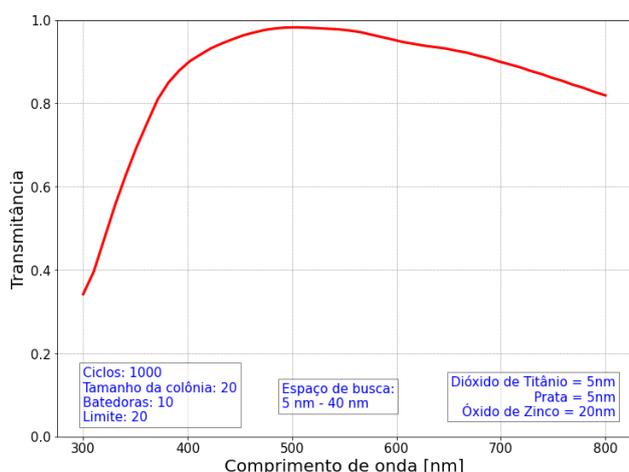


Figura 2: Melhor solução encontrada via ABC para a transmitância de um DMD composto por camadas de dióxido de titânio (TiO₂), prata (Ag) e óxido de zinco (ZnO) imerso em ar. Fonte: autor.

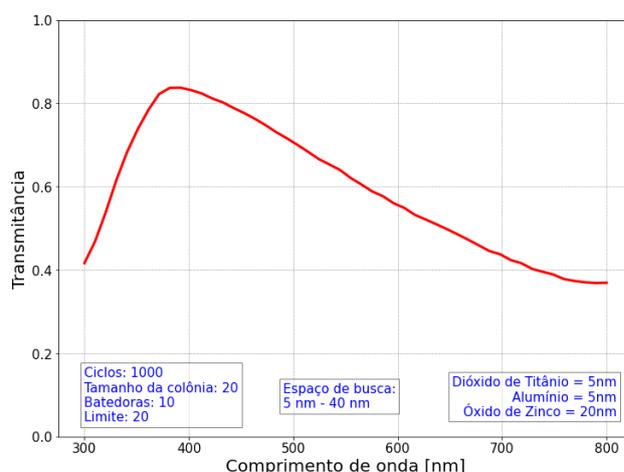


Figura 3: Melhor solução encontrada via ABC para a transmitância de um DMD composto por camadas de dióxido de titânio (TiO₂), alumínio (Al) e óxido de zinco (ZnO) imerso em ar. Fonte: autor.

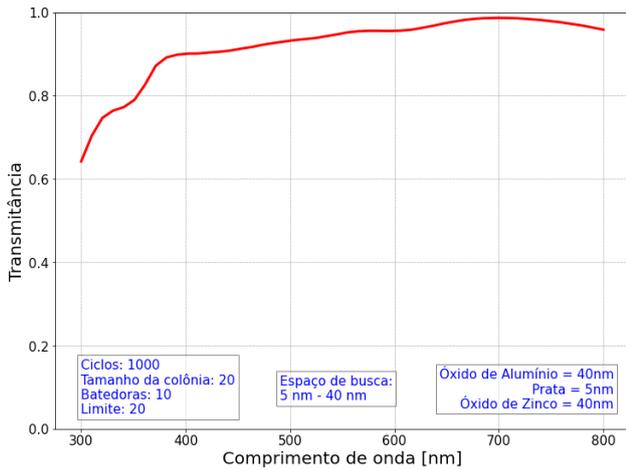


Figura 4: Melhor solução encontrada via ABC para a transmitância de um DMD composto por camadas de óxido de alumínio (Al_2O_3), prata (Ag) e óxido de zinco (ZnO) imerso em ar. Fonte: autor.

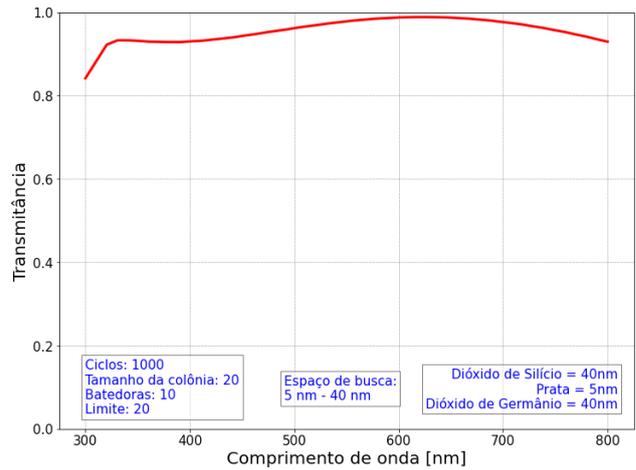


Figura 5: Melhor solução encontrada via ABC para a transmitância de um DMD composto por camadas de dióxido de silício (SiO_2), prata (Ag) e óxido de zinco (GeO_2) imerso em ar. Fonte: autor.

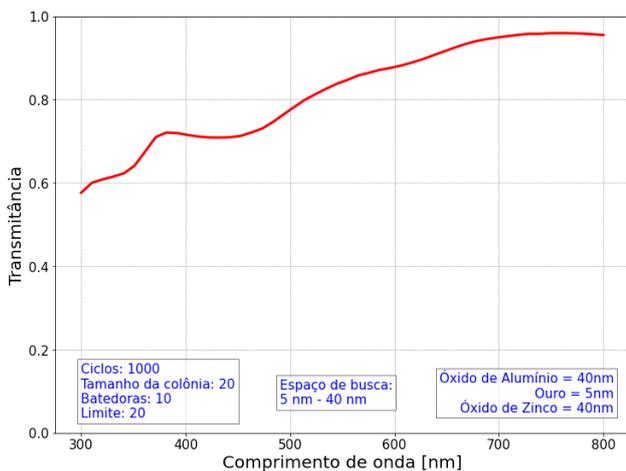


Figura 6: Melhor solução encontrada via ABC para a transmitância de um DMD composto por camadas de óxido de alumínio (Al_2O_3), ouro (Au) e óxido de zinco (ZnO) imerso em ar. Fonte: autor.

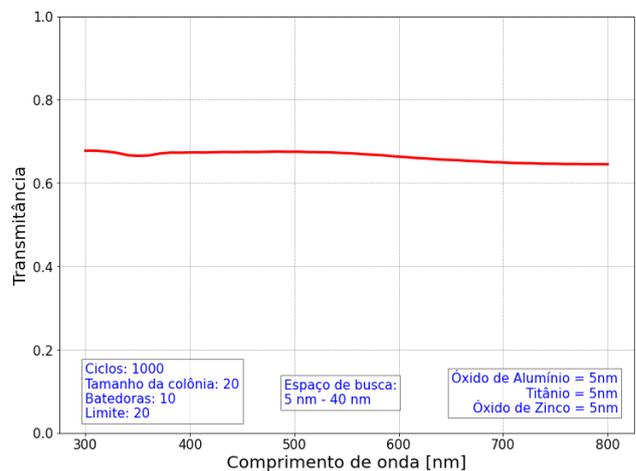


Figura 7: Melhor solução encontrada via ABC para a transmitância de um DMD composto por camadas de óxido de alumínio (Al_2O_3), titânio (Ti) e óxido de zinco (ZnO) imerso em ar. Fonte: autor.

4. Conclusão

O algoritmo de colônia artificial de abelhas tem um ótimo desempenho ao explorar o limite de transmissância ótica de materiais multicamadas usando o método das matrizes de transferência, apesar de se tratar de um problema multidimensional que depende de parâmetros como o índice de refração de cada camada e o comprimento de onda da luz. Segundo os resultados, os dielétricos mais adequados para fabricação de um DMD transparente e condutor são o óxido de alumínio, óxido de zinco, dióxido de silício e dióxido de germânio ao passo que a prata é o metal mais adequado.

Referências

[1] D. Karaboga. **An idea based on honeybee swarm for numerical optimization**. Technical report-TR06. Eriyes University, Turkey, 2005.