



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01
de dezembro 2023

Colônia Artificial de Abelhas Binário: Uma revisão de literatura

Jade Diane Fernandes Targino Filgueira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carmelo J. A. Bastos-Filho

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação, Universidade de Pernambuco

Hugo Valadares Siqueira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gilvan Vieira Moura

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Isaac Alves Dias

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: Com o objetivo de entender o que tem sido pesquisado no campo de meta-heurísticas, particularmente no que diz respeito ao método de Colônia Artificial de Abelhas aplicado a problemas de natureza binária, foi desenvolvida uma revisão de literatura utilizando o termo de busca "Binary Artificial Bee Colony". Os 28 artigos analisados foram categorizados em seis tópicos: operadores genéticos, funções de transferência, abordagem baseada em similaridade, operadores de porta lógica, abordagem baseada em perturbação local, e abordagem baseada na estratégia do ABC. A análise e categorização do conteúdo dos trabalhos encontrados pode servir como um guia para pesquisadores que desejem utilizar o método ABC aplicado a problemas de natureza binária ou estudar novas maneiras de fazê-lo.

Palavras-chave: Problemas de Otimização Binária, Colônia Artificial de Abelhas Binária, Meta-heurística.

Binary Artificial Bee Colony: A literature review

Abstract: With the aim of understanding what has been researched in the field of meta-heuristics, particularly with regard to the Artificial Bee Colony method applied to problems of a binary nature, a literature review was developed using the search term "Binary Artificial Bee Colony". The 28 articles analyzed were categorized into six topics: genetic operators, transfer functions, similarity-based approach, logic gate operators, local perturbation-based approach, and ABC strategy-based approach. The analysis and categorization of the content of the works found can serve as a guide for researchers who wish to use the ABC method applied to problems of a binary nature or study new ways of doing so.

Keywords: Binary Optimization Problems, Binary Artificial Bee Colony, Meta-heuristics.

1. Introdução

No mundo real, muitos problemas de otimização são discretos e muito complexos de resolver. Nas últimas décadas, meta-heurísticas têm mostrado bom desempenho na

resolução destes problemas. A maioria desses algoritmos foi projetada para espaços de busca contínua e não são capazes de resolver problemas de otimização binária em sua forma tradicional. Portanto, uma função de transferência é aplicada para converter o espaço de busca contínuo em binário. O desempenho de tais algoritmos binários depende da sua capacidade de exploração, aproveitamento e função de transferência (BEHEHSTI, 2021).

Embora muitas pesquisas bem-sucedidas tenham sido relatadas na última década, a eficácia da abordagem ABC ainda pode ser melhorada através da escolha adequada de variação de operadores e também através de ligações adequadas entre as características do algoritmo e o problema a ser resolvido (ZHANG et al., 2018).

Para propor métodos que melhorem a eficácia da abordagem ABC aplicada a problemas binários, pesquisadores precisam estar bem familiarizados com os métodos desenvolvidos desde a sua criação no ano de 2005, pois essa análise servirá para apontar novas tendências de pesquisa, bem como sucessos e fracassos de abordagens já utilizadas. Dessa forma, o objetivo principal da presente pesquisa é o de entender o que tem sido pesquisado no campo de meta-heurísticas, particularmente no que diz respeito ao método de Colônia Artificial de Abelhas aplicado a problemas de natureza binária.

Para alcançar o objetivo descrito, foi desenvolvida uma revisão de literatura utilizando o termo de busca "Binary Artificial Bee Colony". Foram consultadas quatro bases de dados, contudo apenas duas se mostraram suficientes relevantes em termos de números de publicações. Não foi utilizado filtro de data de publicação e ao final da aplicação de critérios de inclusão restaram 28 artigos para serem analisados na íntegra.

Este artigo está dividido em 05 seções. A primeira é a presente seção, introdução, onde é contextualizado o tema geral do trabalho e descrito o objetivo de sua realização. A segunda seção, traz uma revisão teórica sobre o método ABC básico. A terceira seção, Metodologia, descreve os procedimentos utilizados para sua realização. A seção de Resultados contém as análises dos artigos selecionados e a seção de Conclusões encerra a pesquisa e sumariza suas contribuições.

2. Metodologia

Foram consultadas 4 bases de dados internacionais de prestígio: ACM Association for Computing Machinery, IEEE Xplore, Science Direct e Emerald Insight. Cada uma foi consultada com as seguintes palavras-chave: "Binary Artificial Bee Colony", , retornando na busca feita em 18/08/2023, um total de 33 resultados, conforme detalhado no Quadro 1:

Quadro 1 – Resultados da Pesquisa Bibliográfica Inicial

Base	Science Direct	IEE Xplore	ACM	Emerald Insight	Total
Busca	Título, Resumo e Palavras-Chave	Resumo	Resumo	Resumo	
"Binary Artificial Bee Colony"	22	10	1	0	33

Fonte: Autores (2023)

Não se aplicou filtro de data, pois sua utilização limitava em grande medida o número de publicações. Utilizando a busca avançada de cada uma das bases foi possível procurar pelas palavras-chave em partes específicas das publicações. Nas bases ACM, IEEE Xplore, e Emerald Insight a busca foi feita apenas nos resumos. Como não foi encontrada

essa opção na *interface* da Science Direct, optou-se pela opção “Título, Resumo e Palavras-chave”.

Após a primeira busca, identificou-se que as bases Science Direct e IEE Xplore eram as mais significativas em número de publicações que se encaixavam nos dos critérios de busca. Por isso optou-se por prosseguir utilizando apenas os resultados destas duas bases. Dessa maneira, foram obtidas 32 publicações, conforme detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultados da Pesquisa Bibliográfica Definitiva

Base	Science Direct	IEE Xplore	Total
Busca	Título, Resumo e Palavras-Chave	Resumo	
"Binary Artificial Bee Colony"	22	10	32

Fonte: Autores (2023)

Após a etapa de busca, os resumos dos 32 artigos encontrados foram analisados para avaliar se cada um deles seria, ou não, incluído na pesquisa. O critério de inclusão utilizado foi a resposta para a pergunta: “O artigo trata como tema principal a meta-heurística da Colônia Artificial de Abelhas?”. Os trabalhos cuja análise de conteúdo dos resumos permitiu a resposta positiva para a pergunta foram incluídos e analisados na íntegra.

Dessa maneira, foram descartados 4 artigos, pois apesar de conterem o termo de busca, na verdade utilizavam o método apenas como comparação de performance para outros algoritmos desenvolvidos. Assim, foram analisados um total de 28 artigos. A discussão resultante dessa análise será descrita na seção de Resultados.

A próxima seção se destina à descrição do ABC original e da sua diferença em relação ao ABC binário.

3. Referencial Teórico

O Algoritmo da Colônia Artificial de abelhas é um dos métodos mais recentemente desenvolvidos dentro da inteligência de otimização por enxames. Foi proposto por Karaboga (2005), utilizando o comportamento de forrageamento das abelhas como fonte de inspiração. No sistema ABC, a população consiste em três grupos de abelhas: empregadas, observadoras e exploradoras.

Inicialmente, metade das abelhas do enxame são empregadas e metade são observadoras. Posteriormente, a abelha empregada que tem sua fonte de alimento esgotada se torna uma exploradora. Para cada fonte de alimento há apenas uma abelha empregada associada, o que implica em dizer que o número de abelhas empregadas é igual ao número de fontes de alimentos.

A tarefa de uma abelha empregada é procurar um local de alimentação na vizinhança da fonte atual que contenha mais néctar do que àquela armazenada na sua memória como sendo a melhor. A abelha observadora calcula a quantidade de néctar em cada fonte. A abelha exploradora tem a função de encontrar novas fontes aleatórias de alimentos quando as antigas estiverem exauridas.

De maneira geral o ABC pode ser sumarizado nas etapas de inicialização, fase das abelhas empregadas, fase das observadoras e fase das exploradoras. A fase da inicialização

consiste no envio das abelhas empregadas até as fontes de alimento. Uma abelha ou uma fonte de alimento pode ser codificada como na Equação 1:

$$X_i^g = [x_{i1}^g, x_{i2}^g, \dots, x_{iD}^g], i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (1)$$

A população inteira consiste em N abelhas. X_i^g é a i -ésima abelha da população da g -ésima geração. Cada abelha X_i^g tem D elementos. x_{ij}^g é o j -ésimo elemento de X_i^g . N é o tamanho da população. Cada fonte de alimento tem um valor de aptidão associado que corresponde à quantidade de néctar memorizado pela abelha, em inglês, esse termo é o *fitness* da alternativa.

Na fase das abelhas empregadas, cada agente produz uma modificação na posição x_{ij} em sua memória de acordo com a equação (2)

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij} \cdot (x_{ij} - x_{kj}) \quad (2)$$

sendo o tamanho do grupo de abelhas empregadas SN , $k \in \{1, 2, \dots, SN\}$ e $j \in \{1, 2, \dots, D\}$. Os índices k e j são escolhidos aleatoriamente dentro do grupo de abelhas empregadas e elementos de abelha, respectivamente. ϕ_{ij} é um número aleatório dentro do intervalo de $[-1, 1]$. É um parâmetro importante no sistema ABC já que o valor de ϕ_{ij} controla a distância entre a nova fonte de alimentos e x_{ij} . Se a abelha empregada encontrar uma melhor fonte de néctar v_{ij} , esse valor substituirá x_{ij} e se tornará uma nova solução candidata da população. Caso contrário, x_{ij} será retida.

Em seguida, na fase das abelhas observadoras, o valor de probabilidade de cada fonte deve ser calculado. Esse valor determina a chance de uma abelha observadora selecionar uma alternativa. As probabilidades de seleção são atribuídas às abelhas com base em seu valor de aptidão. A probabilidade de uma abelha empregada ser escolhida é o resultado da divisão entre seu fitness e a soma dos fitness de todas as abelhas do grupo, conforme descrito na equação 3:

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{SN} fit_i} \quad (3)$$

Dessa forma, a abelha empregada que tiver maior valor de aptidão terá mais chance de ser selecionado, pois a probabilidade associada a ela será maior.

Na fase das abelhas exploradores, se a aptidão de uma abelha empregada não puder ser melhorada através de um número predeterminado de iterações, esta é transformada em uma exploradora e sua posição será redefinida aleatoriamente dentro do espaço de busca, através da equação 4:

$$x_{ij} = x_j^{min} + (x_j^{max} - x_j^{min}) \times r \quad (4)$$

em que r é um número aleatório uniforme no intervalo $[0, 1]$, O i e j denotam o tamanho e a dimensão da fonte de alimento, enquanto min e max são os limites inferior e superior da dimensão. Então o algoritmo ABC repete as fases das abelhas empregadas, observadoras e exploradoras até alcançar os critérios de finalização.

Embora o algoritmo ABC básico possa ser usado diretamente para resolver problemas de otimização contínua, não é adequado para problemas binários porque a equação de busca de solução gera valores contínuos (HAKLI, 2023). Para tornar o algoritmo ABC adaptável à problemas de natureza binária é necessário modificá-lo usando artifícios que permitam que as soluções sejam convertidas em valores discretos.

Muitos autores se dedicam ao estudo de formas de fazer essa adaptação do método. Segundo Zhang et al. (2021), para a binarização do algoritmo de inteligência de enxame,

existem principalmente quatro abordagens: operadores genéticos, funções de transferência, abordagem baseada em similaridade e operadores de porta lógica.

A próxima seção contém a análise dos artigos selecionados, conforme descrito na metodologia. Nela, será analisado como os autores, ao longo do tempo, desenvolveram técnicas para transformar o ABC original em um método capaz de trabalhar com problemas de natureza binária.

4. Resultados

Os tópicos a seguir são destinados à análise dos 28 artigos que foram analisados na íntegra, conforme descrito na seção de metodologia. A presente seção foi dividida em seis tópicos. Cada uma delas representa um tipo de abordagem para a binarização do método ABC. Além das quatro categorias citadas por Zhang et al. (2021) foram incluídas as categorias: abordagem baseada em perturbação local, e abordagem baseada na estratégia do ABC.

A categoria abordagem baseada em perturbação local foi adicionada para abranger os trabalhos que fazem uso da estratégia de alterar uma pequena parte da solução atual para gerar uma nova solução.

A categoria abordagem baseada na estratégia do ABC foi adicionada para englobar as pesquisas que se baseiam nas etapas do ABC sem fazer uso das equações originais ou modificando o algoritmo original de maneira muito significativa.

Dos 28 trabalhos analisados na íntegra, apenas dois não apresentaram nenhum procedimento novo de binarização e por isso não estão enquadrados em nenhuma das categorias.

4.1. Operadores Genéticos

Ozturk, Hancer e Karaboga (2015) propõem uma nova versão binária do algoritmo de colônia artificial de abelhas baseado em operadores genéticos (GB-ABC), utilizando cruzamento e troca para resolver problemas de otimização binária.

Zhang et al. (2018) criam um algoritmo BABC específico para atribuição de espectro que oferece bom desempenho na melhoria da eficiência do seu uso. O Algoritmo incluiu um dispositivo de geração de soluções iniciais baseado no número de canais disponíveis para cada usuário. As soluções iniciais sofrem mutação e recombinação para dar origem a um novo grupo de soluções que são comparadas com as iniciais. As melhores soluções são mantidas.

Cutad e Medina (2019) propõem um algoritmo ABC binário modificado sem a fase das abelhas escoteiras (exploradoras). As modificações incluem um dispositivo de migração na fase de inicialização, amalgamação e cruzamento de quartas na fase das abelhas empregadas e interseção e mutação Onna fase das abelhas observadoras.

O procedimento de migração consiste na troca de posição de todos os elementos das fontes de alimentos geradas. Os dispositivos chamados de amalgamação e cruzamento de quartas consistem em gerar soluções utilizando um operador de união de conjuntos matemáticos e fazer operações de cruzamentos de fontes de alimentos nas quais as proporções de um quarto e três quartos são aplicadas alternadamente a ambas as fontes de alimento para produzir duas novas soluções, respectivamente.

O procedimento de interseção consiste em gerar uma nova solução utilizando o operador lógico AND e a mutação On consiste em gerar um número aleatório em 20% dos casos. Esse número aleatório representa a posição da fonte de alimento que será mutada.

Zhang et al. (2021) introduz operadores genéticos no algoritmo ABC para melhorar o comportamento de busca. As operações de cruzamento e comportamentos de salto são introduzidas para aumentar a diversidade da população e evitar cair no ótimo local, o que pode melhorar a eficiência da pesquisa.

4.2. Funções de Transferência

Chandrasekaran et al. (2012) apresentaram um algoritmo binário de colônia de abelhas artificial para resolver o problema de comprometimento de unidade térmica (UCP) usando as funções sigmoide e tangente. No ABC básico, a posição das abelhas que fornece as possibilidades de solução são valores contínuos. Os autores usam essas funções para transformar os valores contínuos de solução em números dentro de uma faixa contínua entre 0 e 1. Em seguida, o valor resultante é comparado com um número aleatório gerado. Se for maior, então o status da unidade deve ser considerado 1. Caso contrário, assume-se o valor 0.

Kimiyaghalam et al. (2013) apresentaram uma adaptação simples para o ABC, alterando a equação do algoritmo responsável pela produção aleatória de locais de fonte de alimentos que correspondem às soluções no espaço de busca. A equação é alterada usando uma função de arredondamento para o valor mais próximo 0 ou 1.

Hui, Niu e Yang (2015) propõem uma nova equação de busca para as abelhas empregadas, utilizando a função sigmoide para gerar um valor a partir das fontes de néctar iniciais. O valor resultante deverá ser comparado com um número aleatório gerado, caso seja inferior ou equivalente assume-se valor 0 para a nova fonte de néctar, caso contrário assume-se valor 1. O uso da função sigmoide garante a binarização das soluções iniciais geradas.

Kiran (2015) propõe uma equação para a conversão dos valores contínuos da posição da fonte de alimento no algoritmo ABC em valores binários, utilizando operações de arredondamento e divisões sucessivas de operador de módulo (retorna o resto da divisão entre dois números).

Parhizkar e Abadi (2015) desenvolveram um operador de interpretação binária utilizado para realizar a conversão entre os valores contínuos das fontes de alimentos em valores discretos. O algoritmo inicializa uma população de valores contínuos entre 0 e 1, $z_i \in P$. Cada valor z_i é então interpretado como a probabilidade de se transformar em 0 ou 1. O operador de interpretação binária compara essas probabilidades com um valor aleatório entre 0 e 1 e transforma a população contínua em um vetor binário dependendo se o número aleatório gerado é maior ou menor que z_i .

Em outro trabalho Parhizkar e Abadi (2015) usam o mesmo operador de interpretação binária para desenvolver uma nova abordagem de classificadores para detecção de anomalias no tráfego web.

Li e Meng (2017) usam a função logística para fazer a conversão dos valores binários em discretos. Além disso, propõem uma melhoria no algoritmo BABC que consiste em definir vizinhanças com base no agrupamento de elementos que têm o mesmo número de elementos diferentes de zero. Então o algoritmo busca por novas vizinhanças ao invés de novas fontes de alimentos individuais.

He et al. (2018) utilizam um mapeamento de sobrejeção, para projetar um vetor real em um vetor 0-1 para propor um novo algoritmo binário de colônia artificial de abelhas (BABC) para resolver problemas de otimização binária. A operação transforma os elementos maiores ou iguais a zero de um vetor real em um e menores ou iguais a 0 em zero, assim criando vetores binários.

4.3. Abordagem baseada em similaridade

Nessa categoria, foram descritos todos os trabalhos dentre os selecionados cuja análise mostrou que são utilizadas mais de uma das abordagens identificadas. Como exemplo podemos citar o trabalho de Hancer et al. (2015), no qual os autores fazem uso da abordagem de binarização por meio de operadores genéticos e abordagem baseada em similaridade.

Os autores propõem um novo algoritmo ABC binário baseado no DisABC proposto por Kashan, Nahavandi e Kashan (2012) em que é feita a introdução do mecanismo de seleção de vizinhança da estratégia de evolução diferencial (DE). A abordagem de busca baseada em similaridade do DisABC é re-simulada de acordo com as estratégias de mutação, recombinação e seleção DE.

Ozturk, Hancer e Karaboga (2015) aprimoram o mecanismo de busca do algoritmo DisABC, uma das versões binárias mais conhecidas do algoritmo de colônia artificial de abelhas. O algoritmo DisABC é modificado por dois esquemas de seleção aprimorados através de operadores genéticos na fase de geração de novas soluções. Esse trabalho foi classificado na presente categoria, pois o DisABC utiliza uma abordagem baseada em similaridade. Adicionalmente, os autores propõem modificações através de operadores genéticos.

4.4. Operadores de porta lógica

No trabalho de Jia, Duan e Khan (2014) a operação aritmética real de geração de novas fontes de alimento da fase das abelhas empregadas no ABC original foi substituída por uma operação com uso de operadores lógicos XOR, AND e OR.

Li, Li e Yin (2016) utilizam operadores lógicos AND e OR para modificar a equação de busca de novas fontes de alimentos das abelhas empregadas e propõem um BABC com ranqueamento para a formação da colônia de abelhas empregadas.

Kiran (2021) sugere algumas modificações no algoritmo ABC. Além da inicialização das fontes de alimento com a mesma probabilidade de gerar zeros e uns, é sugerida uma equação de busca de novas fontes de alimentos baseadas nos operadores XOR e NOT. Adicionalmente, são criadas variáveis para cada dimensão do problema de otimização para medir a mudança de 0 para 1 ou de 1 para 0. Para usar essas informações é proposta uma nova equação de busca das abelhas observadoras. Segundo o autor, a utilização dessas informações é uma das grandes contribuições do método, pois não são levadas em consideração em outras versões binárias do ABC.

4.5. Abordagens baseadas em perturbação local

Zhang e Zhang (2017) propõem uma técnica baseada na escolha aleatória de dois elementos dos vetores de busca de abelhas empregadas e abelhas observadoras para sofrerem *flipping* (inversão do bit). A técnica garante que o número de elementos com valor 0 ou 1 não muda, de modo que esta técnica sempre produz uma *string* candidata com o mesmo número de elementos com valor 1. Isso é importante em problemas de geração de *Spanning Trees*, pois nesse tipo de problema o número de elementos 1 das soluções encontradas durante a busca deve ser constante.

Santana et al. (2019) desenvolveram um novo algoritmo BABC no qual a fase de inicialização é modificada para gerar soluções com a mesma probabilidade de zeros e uns. O procedimento também se aplica para a geração de novas fontes de alimentos na fase das abelhas exploradoras. O procedimento não é novo, mas facilita para o sistema decidir qual direção seguir. Além disso, as equações de busca por novas fontes de alimentos das fases das abelhas empregadas e observadoras também foram substituídas por algoritmos para selecionar e modificar fontes de alimentos que visam a redução do custo computacional, através da atribuição de um número de dimensões, aleatoriamente

escolhido, para serem mudadas da fonte de alimento escolhida para a nova fonte de alimentos.

Telikani et al. (2020) melhoraram o algoritmo DisABC proposto por Kashan et al. (2012), concebendo um novo mecanismo de geração de vizinhança para as fases das abelhas empregadas e observadoras. O mecanismo é baseado no conceito de perturbação local que consiste em alterar uma pequena parte da solução atual para gerar uma nova solução. O algoritmo foi chamado de ABC Binário Melhorado (IBABC) e é acoplado a um algoritmo de ocultação de regras, chamado ABC4ARH, para selecionar transações sensíveis para modificação.

Durgut e Aydin (2021) adaptaram o método ABC através de uma equação que determina o número de dimensões das soluções que devem ser alteradas de modo a balancear a exploração e o aproveitamento das fontes de alimento, uma vez que alterar muitas dimensões de uma solução aumenta a capacidade de exploração do algoritmo, porém diminui a capacidade de aproveitamento. O método é adaptativo, pois a cada iteração é calculado um novo número de dimensões que irão sofrer alteração.

Hakli (2023) propôs um algoritmo ABC binário com atualizações multidimensionais, no qual a j -ésima dimensão da solução atual X_j assume o valor da j -ésima dimensão da k -ésima solução determinada aleatoriamente. O número de dimensões a serem alteradas também são determinadas aleatoriamente.

4.6. Abordagem baseada na estratégia do ABC

O trabalho de Al-Salamah (2015) propõe uma abordagem de colônia artificial de abelhas para minimizar o tempo de produção de uma única máquina de processamento em lote, na qual as soluções iniciais são geradas com base em um novo algoritmo chamado de primeiro ajuste decrescente com número fixo de lotes que devido à sua natureza, gera soluções iniciais binárias.

Em seguida, as abelhas observadoras escolhem as fontes de alimentos com base nos valores do tempo de produção, ao invés de utilizar a probabilidade proposta no ABC original. Na fase de busca por novas soluções o autor propõe uma operação na qual as tarefas são modificadas de lotes de forma a minimizar o termo de penalidade. O valor da penalidade será reduzido se o maior trabalho do lote com o maior valor de penalidade for movido para outro lote. O autor utiliza apenas a lógica do algoritmo ABC, não fazendo uso de nenhuma das suas equações originais.

Karthiga e Rekha (2020) desenvolveram uma variação do algoritmo ABC em que as abelhas observadoras selecionam as abelhas empregadas com base no cálculo da acurácia do conjunto de características selecionadas. Além disso, os autores também desenvolveram um algoritmo baseado em Avaliação de Subconjunto com Inclusão (*wrapper*) para ajudar a melhorar a qualidade das soluções ao selecionar e avaliar subconjuntos de características durante o processo de otimização.

Além de utilizar procedimentos baseados em trabalhos anteriores, os autores Lin et al. (2020) propõem um *tabu based simulated annealing* (Recozimento Simulado Baseado em Lista Tabu) que é um método de melhoria de busca local iterativa. Essa técnica é utilizada na inicialização para melhorar as soluções geradas, na fase das abelhas empregadas para otimização das novas fontes de alimentos e na fase das abelhas exploradoras para melhorar as fontes de alimentos aleatórias geradas.

5. Conclusões

O presente artigo se destinou a fazer uma análise dos métodos de binarização desenvolvidos para a meta-heurística ABC ao longo do tempo. O objetivo principal da

presente pesquisa é o de entender o que tem sido investigado no campo de meta-heurísticas, particularmente no que diz respeito ao método de Colônia Artificial de Abelhas aplicado a problemas de natureza binária.

Para isso, foi desenvolvida uma revisão de literatura em duas bases de dados de prestígio internacional e com foco na área de Ciência e Tecnologia. Não foi aplicado filtro de data de publicação para que a busca pudesse abranger o maior número possível de trabalhos.

Com a busca, foram encontrados 28 artigos que foram analisados na íntegra e cujos conteúdos foram classificados em 6 grupos, conforme o tipo do método de binarização proposto.

A análise e categorização do conteúdo dos trabalhos encontrados pode servir como um guia para pesquisadores que desejem utilizar o método ABC aplicado a problemas de natureza binária ou estudar novas maneiras de fazê-lo.

A análise dos artigos também revela uma tendência de desenvolvimento de algoritmos específicos para o tipo de problema estudado, em que as equações originais do ABC têm sido substituídas por equações inerentes ao problema de estudo. Com base nisso, como sugestão para trabalhos futuros deixamos o estudo de variantes do método ABC aplicadas à problemas específicos como forma de otimizar às capacidades de exploração e aproveitamento do método e ainda de respeitar restrições particulares de cada problema.

Referências

AL-SALAMAH, Muhammad. Constrained binary artificial bee colony to minimize the makespan for single machine batch processing with non-identical job sizes. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 29, p. 379-385, abr. 2015. Elsevier BV.

BEHESHTI, Zahra. UTF: upgrade transfer function for binary meta-heuristic algorithms. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 106, p. 107346, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107346>.

CHANDRASEKARAN, K. *et al.* Thermal unit commitment using binary/real coded artificial bee colony algorithm. **Electric Power Systems Research**, [S.L.], v. 84, n. 1, p. 109-119, mar. 2012. Elsevier BV.

CUTAD, Reir Erlinda E.; MEDINA, Ruji P.. Modified Binary Artificial Bee Colony Algorithm with New Exploration-Exploitation Strategies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING TECHNOLOGIES AND APPLIED SCIENCES (ICETAS), 6., 2019, Kuala Lumpur. **Proceedings [...]**. [S.L.]: IEEE, 2020.

DURGUT, Rafet; AYDIN, Mehmet Emin. Adaptive binary artificial bee colony algorithm. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 101, p. 107054, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2020.107054>.

HAKLI, Huseyin. The optimization of wind turbine placement using a binary artificial bee colony algorithm with multi-dimensional updates. **Electric Power Systems Research**, [S.L.], v. 216, p. 109094, mar. 2023. Elsevier BV.

HANCER, Emrah *et al.* A binary ABC algorithm based on advanced similarity scheme for feature selection. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 36, p. 334-348, nov. 2015. Elsevier BV.

HE, Yichao *et al.* A novel binary artificial bee colony algorithm for the set-union knapsack problem. **Future Generation Computer Systems**, [S.L.], v. 78, p. 77-86, jan. 2018. Elsevier BV.

HUI, Xianyang; NIU, Yingtao; YANG, Mi. Decision method of anti-jamming communication based on binary artificial bee colony algorithm. **International Conference On Computer Science And Network Technology**, Harbin, p. 987-991, dez. 2015. IEEE.

JIA, Dongli; DUAN, Xintao; KHAN, Muhammad Khurram. Binary Artificial Bee Colony optimization using bitwise operation. **Computers & Industrial Engineering**, [S.L.], v. 76, p. 360-365, out. 2014. Elsevier BV.

KARABOGA, Dervis. **An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization**. Kayseri: Universidade Erciyes, 2005.

KARTHIGA, B.; REKHA, M.. Feature extraction and I-NB classification of CT images for early lung cancer detection. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 33, p. 3334-3341, 2020.

KASHAN, Mina Husseinzadeh; NAHAVANDI, Nasim; KASHAN, Ali Husseinzadeh. DisABC: a new artificial bee colony algorithm for binary optimization. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 342-352, jan. 2012. Elsevier BV.

KIMIYAGHALAM, A. *et al.* Optimal Placement of PMUS for Reliable Observability of Network Under Probabilistic Events Using BABC Algorithm. **22Nd International Conference And Exhibition On Electricity Distribution (Cired 2013)**, Estocolmo, v. 50, n. 10, p. 0-0, jun. 2013. Institution of Engineering and Technology.

KIRAN, Mustafa Servet. The continuous artificial bee colony algorithm for binary optimization. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 33, p. 15-23, ago. 2015. Elsevier BV.

KIRAN, Mustafa Servet. A binary artificial bee colony algorithm and its performance assessment. **Expert Systems With Applications**, [S.L.], v. 175, p. 114817, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114817>.

LI, Shaoqian; MENG, Zhaoyong. Optimal PMU placement based on improved binary artificial bee colony algorithm. **2017 IEEE Transportation Electrification Conference And Expo, Asia-Pacific (Itec Asia-Pacific)**, [S.L.], p. 1-6, ago. 2017. IEEE.

LI, Xiangtao; LI, Mingjie; YIN, Minghao. Multiobjective ranking binary artificial bee colony for gene selection problems using microarray datasets. **IEEE/Caa Journal Of Automatica Sinica**, [S.L.], p. 1-16, 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

LIN, Geng *et al.* An effective binary artificial bee colony algorithm for maximum set k-covering problem. **Expert Systems With Applications**, [S.L.], v. 161, p. 113717, dez. 2020.

OZTURK, Celal; HANCER, Emrah; KARABOGA, Dervis. Dynamic clustering with improved binary artificial bee colony algorithm. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 28, p. 69-80, mar. 2015. Elsevier BV.

PARHIZKAR, Elham; ABADI, Mahdi. BeeOWA: a novel approach based on abc algorithm and induced owa operators for constructing one-class classifier ensembles. **Neurocomputing**, [S.L.], v. 166, p. 367-381, out. 2015. Elsevier BV.

PARHIZKAR, Elham; ABADI, Mahdi. OC-WAD: a one-class classifier ensemble approach for anomaly detection in web traffic. **Iranian Conference On Electrical Engineering**, Tehran, p. 631-636, maio 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iraniancee.2015.7146291>.

SANTANA, Clodomir J. *et al.* A novel binary artificial bee colony algorithm. **Future Generation Computer Systems**, [S.L.], v. 98, p. 180-196, set. 2019. Elsevier BV.

TELIKANI, Akbar *et al.* Privacy-preserving in association rule mining using an improved discrete binary artificial bee colony. **Expert Systems With Applications**, [S.L.], v. 144, p. 113097-113131, abr. 2020. Elsevier BV.

ZHANG, Xin; ZHANG, Xiu. A binary artificial bee colony algorithm for constructing spanning trees in vehicular ad hoc networks. **Ad Hoc Networks**, [S.L.], v. 58, p. 198-204, abr. 2017. Elsevier BV.

ZHANG, Xiu *et al.* Utilization-Oriented Spectrum Allocation in an Underlay Cognitive Radio Network. **Ieee Access**, [S.L.], v. 6, p. 12905-12912, 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

ZHANG, Chen *et al.* A Modified Random Forest Based on Kappa Measure and Binary Artificial Bee Colony Algorithm. **Ieee Access**, [S.L.], v. 9, p. 117679-117690, 2021. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2021.3105796>.