



ANÁLISE DE DESEMPENHO DE META-HEURÍSTICAS BASEADAS EM INTERAÇÕES QUÍMICAS PARA O *NEXT RELEASE PROBLEM* EM AMBIENTES ÁGEIS: UMA APLICAÇÃO NA PLATAFORMA GAIO

Daniel Cordeiro de Sousa¹

Gustavo Henrique Ferreira Rodrigues²

Thiago Dias de Carvalho Quaresma Gama³

Ricardo Manuel Gonçalves Martins⁴

RESUMO

A gestão de fluxos de trabalho em ambientes de desenvolvimento ágil envolve desafios associados ao *Next Release Problem* (NRP), no qual a seleção e o escalonamento de tarefas devem atender às restrições de recursos e prazos. Este artigo apresenta a integração das meta-heurísticas *Chemical Reaction Optimization* (CRO) e *Hydrogen Bond Optimization* (HBO) à plataforma GAIO (Gestão Ágil de Operações), com o objetivo de apoiar a priorização e a distribuição de demandas em projetos de software. A abordagem emprega mecanismos inspirados em interações moleculares e reações químicas para gerar soluções candidatas de planejamento, produzindo cronogramas que buscam reduzir gargalos e melhorar a aderência do sequenciamento às restrições do projeto. A avaliação proposta considera a execução controlada dos algoritmos sobre instâncias do NRP, analisando indicadores como qualidade da solução, atendimento a restrições e comportamento de convergência, além de comparar o desempenho relativo entre as estratégias implementadas. Como contribuição, o trabalho disponibiliza a incorporação do CRO e do HBO ao ecossistema do GAIO e estabelece uma base para estudos experimentais sobre meta-heurísticas bioinspiradas aplicadas ao planejamento de releases em contextos ágeis.

Palavras-chave: Análise de desempenho. *Next Release Problem*. Engenharia de requisitos.

¹ Graduando do curso de Sistemas para Internet da Universidade Estadual de Goiás - Pires do Rio - GO, daniel.sousa@aluno.ueg.br;

² Graduando do curso de Sistemas para Internet da Universidade Estadual de Goiás - Pires do Rio - GO, gustavo.846@aluno.ueg.br;

³ Professor orientador: Mestre, Universidade Estadual de Goiás - Pires do Rio - GO, thiago.gama@ueg.br;

⁴ Aluno do curso de MBA em Ciência de Dados e Inteligência Artificial da Pontifícia Universidade Católica de Goiás - Goiânia - GO, ricardomartins@pucgoias.edu.br.





ABSTRACT

Managing workflows in agile software development often leads to challenges related to the Next Release Problem (NRP), in which tasks must be selected and scheduled under resource and deadline constraints. This paper reports the integration of the metaheuristics Chemical Reaction Optimization (CRO) and Hydrogen Bond Optimization (HBO) into the GAIO (Gestão Ágil de Operações) platform, with the goal of supporting demand distribution and requirement prioritization in software projects. The proposed approach applies chemical-inspired search mechanisms to generate candidate plans and schedules that respect project constraints and help mitigate operational bottlenecks across development cycles. The evaluation is designed as controlled runs over NRP instances, considering indicators such as solution quality, constraint satisfaction, and convergence behavior, in addition to comparing the relative performance of the implemented strategies. As a contribution, the work incorporates CRO and HBO into the GAIO ecosystem and provides a basis for further experimental investigations of nature-inspired metaheuristics applied to release planning in agile contexts.

Keywords: Performance Analysis. Next Release Problem. Requirements Engineering.

INTRODUÇÃO

A plataforma GAIO (Gestão Ágil de Operações) apresenta-se como um ecossistema de gerenciamento de tarefas projetado para integrar inteligência computacional ao cotidiano de equipes ágeis. Em ambientes de desenvolvimento de software, a tomada de decisão relacionada ao escalonamento de demandas frequentemente se materializa no *Next Release Problem* (NRP), um desafio que consiste em equilibrar a maximização do valor entregue ao cliente com a utilização eficiente de recursos limitados. Conforme apontam Harman, Mansouri e Zhang (2012), a Engenharia de Software Baseada em Busca (*Search-Based Software Engineering - SBSE*) fornece o arcabouço teórico necessário para reformular esses problemas de gestão como problemas de otimização, permitindo que ferramentas como o GAIO transcendam abordagens puramente heurísticas e passem a oferecer soluções fundamentadas em modelos matemáticos robustos.

Nesse contexto, o presente estudo propõe a implementação e a análise de desempenho de dois algoritmos inspirados em reações químicas: o *Chemical Reaction Optimization* (CRO) e o *Hydrogen Bond Optimization* (HBO). O CRO é uma meta-heurística que simula interações moleculares com o objetivo de alcançar estados de menor energia potencial, demonstrando elevada capacidade de exploração e adaptação tanto em domínios discretos quanto contínuos (LAM; LI, 2012). De forma complementar, o algoritmo HBO fundamenta-se nos princípios das ligações de hidrogênio para intensificar a busca local, sendo classificado como uma técnica bio-inspirada com potencial significativo para a resolução de problemas complexos de engenharia (DARVISHPOOR et al., 2023). A incorporação desses algoritmos à plataforma GAIO busca ampliar suas capacidades de otimização, oferecendo novas estratégias de processamento para problemas de agendamento e priorização de tarefas.

O foco desta pesquisa consiste em uma avaliação comparativa entre os algoritmos propostos (CRO e HBO) e as meta-heurísticas mono-objetivo já consolidadas no núcleo da plataforma GAIO. A análise tem como objetivo verificar a hipótese de que algoritmos de inspiração química podem apresentar melhor desempenho em termos de convergência e/ou eficiência computacional no mapeamento de soluções para o NRP em ambientes de computação





em nuvem (KALRA; SINGH, 2015). Ao confrontar essas abordagens, busca-se não apenas otimizar o fluxo operacional do software, mas também fornecer evidências empíricas acerca da viabilidade do uso de interações químicas simuladas como mecanismo para mitigar gargalos logísticos em contextos de desenvolvimento ágil.

REFERENCIAL TEÓRICO

O problema da próxima versão e a engenharia de software baseada em busca

O *Next Release Problem* (NRP) constitui um dos desafios centrais da Engenharia de Software Baseada em Busca (*Search-Based Software Engineering* - SBSE), sendo caracterizado pela necessidade de selecionar um subconjunto ótimo de requisitos que maximize o valor entregue aos stakeholders, respeitando restrições de custo, tempo e recursos disponíveis. Conforme apontam Harman, Mansouri e Zhang (2012), a complexidade do NRP cresce exponencialmente à medida que o número de requisitos aumenta, o que o classifica como um problema de otimização combinatória NP-difícil. Historicamente, diversas abordagens baseadas em meta-heurísticas mono-objetivo, como algoritmos genéticos e *simulated annealing*, têm sido empregadas para explorar o amplo espaço de soluções do problema. Com a evolução do estado da arte, observa-se uma transição para métodos multiobjetivo e hiper-heurísticas, capazes de lidar simultaneamente com critérios conflitantes, tais como valor de negócio, custo de implementação e risco técnico. No entanto, em ambientes de gestão ágil altamente dinâmicos, nos quais requisitos e prioridades sofrem alterações frequentes, ainda persiste uma lacuna relacionada à obtenção de um equilíbrio eficiente entre exploração global do espaço de busca e gestão local das melhores soluções, aspecto fundamental para a eficiência operacional e a tomada de decisão em tempo hábil.

Meta-heurísticas de inspiração química: CRO, HBO e a Plataforma GAIO

Como alternativa às abordagens tradicionalmente inspiradas em fenômenos biológicos, as meta-heurísticas de inspiração química fundamentam-se em princípios da termodinâmica e em interações moleculares para modelar processos de busca e otimização. O *Chemical Reaction Optimization* (CRO), proposto por Lam e Li (2012), simula reações químicas nas quais moléculas interagem por meio de colisões, transformações e rearranjos estruturais, buscando atingir estados de energia mínima, que correspondem a soluções ótimas ou quase ótimas do problema. De forma complementar, o *Hydrogen Bond Optimization* (HBO) explora o conceito de estabilidade das ligações de hidrogênio para promover buscas locais intensivas, ao mesmo tempo em que preserva a diversidade da população de soluções, característica essencial para evitar a convergência prematura (DARVISHPOOR et al., 2023).

A incorporação dessas meta-heurísticas à plataforma GAIO (*Gestão Ágil de Operações*) tem como objetivo transformar o gerenciamento de tarefas de um modelo predominantemente descritivo para um sistema dinâmico de apoio à decisão. Ao aplicar CRO e HBO no contexto da gestão ágil, a plataforma busca automatizar a priorização e o escalonamento de demandas, reduzindo a dependência exclusiva de decisões humanas intuitivas e fundamentando o planejamento em critérios de eficiência computacional, equilíbrio dinâmico e estabilidade química simulada.





RESULTADOS

E

DISCUSSÕES

Os resultados e discussões deste estudo concentram-se na avaliação das meta-heurísticas baseadas em reações químicas HBO e CRO, integradas à plataforma GAIO, considerando cenários experimentais com 110, 120 e 130 tarefas. Os testes foram configurados para um horizonte de planejamento composto por seis sprints, com ciclos de 30 dias e jornadas de trabalho de oito horas diárias, visando otimizar a alocação de recursos e a seleção de tarefas com base no valor de negócio (fitness). A análise dos dados evidencia que ambas as abordagens apresentam elevada eficiência computacional, sendo capazes de processar volumes complexos de dados em tempos inferiores a um segundo, requisito essencial para garantir a interatividade demandada por ferramentas de gestão ágil.

A análise de desempenho demonstrou que o algoritmo HBO apresentou maior agilidade computacional, com tempos médios de execução em torno de 95 ms, em contraste com os 643 ms observados para o CRO. No que se refere à qualidade das soluções, o HBO destacou-se no cenário de 120 tarefas, alcançando um valor de fitness de 13.478, superando de forma significativa o resultado obtido pelo CRO no mesmo experimento, que foi de 5.087. Por outro lado, o algoritmo CRO mostrou-se mais resiliente em cenários de maior densidade de dados, como no caso de 130 tarefas, em que obteve um fitness de 4.161, indicando uma capacidade de exploração mais robusta do espaço de busca, potencialmente vantajosa em projetos de altíssima complexidade e com elevado volume de requisitos.

Tabela 1. Análise de Desempenho dos algoritmos (HBO e CRO)

Cenário de Teste	Meta-heurística	Tarefas Totais	Tarefas Seleccionadas	Melhor Aptidão	Tempo de Execução (ms)
Teste 1	CRO	110	19	5.16	805
	HBO	110	104	4.97	231
Teste 2	CRO	120	27	5.08	656
	HBO	120	108	13.47	213
Teste 3	CRO	130	20	3.50	729
	HBO	130	103	4.16	176

A implementação dessas meta-heurísticas na plataforma GAIO proporciona benefícios diretos ao reduzir a carga cognitiva dos gestores, ao automatizar tanto a priorização de tarefas quanto a distribuição da carga de trabalho entre diferentes perfis profissionais, como Desenvolvedores Sênior, Pleno e Júnior, além de especialistas em QA (em inglês, *Quality*





Assurance) e *DevOps*. Ao assegurar que a capacidade total da equipe (como as 3.360 horas simuladas) seja utilizada de forma otimizada, o sistema contribui para a mitigação de gargalos e a redução de subutilização de recursos. Do ponto de vista tecnológico, os resultados obtidos validam a eficácia de modelos inspirados em fenômenos químicos na resolução do *Next Release Problem* (NRP), demonstrando que abordagens de inteligência computacional podem elevar significativamente os níveis de precisão, eficiência e escalabilidade em sistemas de gestão operacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho permitiu concluir que a integração das meta-heurísticas de reação química HBO e CRO à plataforma GAIO representa um avanço significativo para a automação da gestão ágil. A partir dos testes realizados, observou-se que a aplicação de algoritmos inspirados em interações moleculares é plenamente viável para a resolução do *Next Release Problem* (NRP) em ambientes reais. Ao transcender o modelo visual de quadros tradicionais e incorporar inteligência computacional, a plataforma GAIO demonstrou ser capaz de oferecer planejamentos de sprints que equilibram, de forma precisa, a capacidade técnica da equipe e o valor de negócio das tarefas, assegurando o respeito às restrições de tempo e recursos com rigor matemático.

No que se refere à análise de desempenho, conclui-se que ambos os algoritmos apresentaram tempos de resposta reduzidos, mantendo-se na ordem de milissegundos mesmo com o aumento da carga de trabalho para até 130 tarefas. O algoritmo HBO destacou-se pela elevada agilidade e alto desempenho em cenários de média complexidade, enquanto o CRO demonstrou maior robustez e potencial de exploração em ambientes mais densos. Essa diversidade algorítmica integrada à plataforma permite que o GAIO se adapte a diferentes perfis de projetos e tamanhos de equipes, consolidando-se como uma ferramenta estratégica capaz de minimizar o erro humano e reduzir a subjetividade no processo de priorização de demandas.

Por fim, a visão do projeto GAIO se confirma como uma solução inovadora ao unir a simplicidade das metodologias ágeis ao poder da otimização combinatória. Os resultados obtidos não apenas validam a eficácia das meta-heurísticas de reação química no contexto da engenharia de software, como também abrem precedentes para futuras pesquisas voltadas à exploração de novos parâmetros, estratégias de hibridização algorítmica e cenários mais complexos. Conclui-se, portanto, que o trabalho atinge seu objetivo primordial ao fornecer uma base sólida para a evolução das ferramentas de gestão, entregando um sistema que não apenas organiza o fluxo de trabalho, mas o otimiza de forma inteligente, escalável e alinhada aos desafios contemporâneos do desenvolvimento de software.

REFERÊNCIAS

DARVISHPOOR, Shahin et al. Nature-inspired algorithms from oceans to space: A comprehensive review of heuristic and meta-heuristic optimization algorithms and their potential applications in drones. **Drones**, v. 7, n. 7, 2023.





HARMAN, Mark; MANSOURI, S. Afshin; ZHANG, Yuanyuan. Search-based software engineering: Trends, techniques and applications. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 45, n. 1, 2012.

LAM, Albert YS; LI, Victor OK. Chemical reaction optimization: a tutorial. **Memetic Computing**, v. 4, n. 1, 2012.

LI, Jun-Qing; PAN, Quan-Ke. Chemical-reaction optimization for flexible job-shop scheduling problems with maintenance activity. **Applied soft computing**, v. 12, n. 9, 2012.