
APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ALGORITMOS DE OTIMIZAÇÃO NO PLANEJAMENTO DE HORÁRIOS ACADÊMICOS USANDO UM DATASET UNIVERSITÁRIO REAL: UMA ABORDAGEM BASEADA EM SIMULATED ANNEALING

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND OPTIMIZATION ALGORITHMS IN ACADEMIC TIMETABLING USING A REAL UNIVERSITY DATASET: A SIMULATED ANNEALING APPROACH

Victor de Andrade Miranda ¹

Matheus Vinícius Pires da Silva Garvão ²

Ricardo Petri da Silva ³

Sergio Akio Tanaka ⁴

RESUMO

Este artigo investiga o desafio do planejamento de horários acadêmicos em instituições de ensino superior, categorizado como *University Course Timetabling Problem* (UCTP), caracterizado por sua alta complexidade combinatória e classificado como NP-hard. O estudo utiliza um *dataset* real representativo de uma universidade, contendo dados sobre salas, professores, disciplinas e preferências de alocação. A proposta envolve a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial (IA) e algoritmos de otimização, visando automatizar e melhorar o processo de geração de horários. Utilizando a linguagem *Java* e o *framework Timefold AI*, o algoritmo *Simulated Annealing* foi empregado para buscar soluções que minimizem as restrições *hard* e *soft*, como conflitos de sala, superlotação de turmas e preferências de professores. Os resultados preliminares indicam que a metodologia, quando aplicada ao *dataset* real, é eficaz na redução do tempo de planejamento e na melhoria da qualidade dos horários, oferecendo uma solução viável e escalável para o problema de agendamento universitário.

117

Palavras-chave: planejamento de horários acadêmicos; *University Course Timetabling Problem* (UCTP); Inteligência Artificial; algoritmos de otimização; simulated annealing; Timefold AI; *dataset* universitário; restrições *hard* e *soft*; metaheurísticas; *Java*.

¹ Discente do curso de Engenharia de Software do Centro Universitário Filadélfia - UniFil. victoandrad@edu.unifil.br

² Discente do curso de Engenharia de Software do Centro Universitário Filadélfia - UniFil. matheusgarvao@edu.unifil.br

³ Co-orientador, Docente do Centro Universitário Filadélfia - UniFil

⁴ Coordenador do Curso de Ciência da Computação do Centro Universitário Filadélfia - UniFil. sergio.tanaka@unifil.br

ABSTRACT

This paper investigates the challenge of academic timetabling in higher education institutions, categorized as the University Course Timetabling Problem (UCTP), which is characterized by its high combinatorial complexity and classified as NP-hard. The study utilizes a real *dataset* from a university, containing data on rooms, professors, courses, and allocation preferences. The proposed solution involves the application of Artificial Intelligence (AI) techniques and optimization algorithms to automate and enhance the scheduling process. Using Java and the Timefold AI framework, the Simulated Annealing algorithm was employed to seek solutions that minimize hard and soft constraints, such as room conflicts, class overcrowding, and teacher preferences. Preliminary results indicate that the methodology, when applied to the real *dataset*, effectively reduces scheduling time and improves the quality of the timetables, offering a viable and scalable solution for university scheduling problems.

Keywords: academic timetabling; University Course Timetabling Problem (UCTP); Artificial Intelligence; optimization algorithms; simulated annealing; Timefold AI; university *dataset*; hard and soft constraints; metaheuristics; Java.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento de horários acadêmicos em instituições de ensino superior é uma tarefa complexa e desafiadora, classificada como University Course Timetabling Problem (UCTP). Este problema envolve a alocação de recursos limitados — como salas de aula, professores e turmas de alunos — de maneira eficiente, atendendo a múltiplas restrições, o que aumenta exponencialmente sua dificuldade conforme a instituição cresce em tamanho e diversidade. Em instituições que adotam modelos de ensino flexíveis, a complexidade é ainda mais pronunciada devido à maior variabilidade de horários e ao aumento do número de combinações possíveis (Müller *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2022).

Horários mal planejados podem resultar em superlotação de salas, ociosidade de professores, conflitos de disciplinas e insatisfação dos alunos, comprometendo a eficiência da instituição (Müller *et al.*, 2021). Tradicionalmente, o planejamento de horários é realizado de forma manual, o que, além de ser demorado, resulta em soluções subótimas e suscetíveis a erros. Dada a complexidade do UCTP, técnicas computacionais mais avançadas são necessárias (Le *et al.*, 2021).

O UCTP é classificado como um problema NP-hard, o que implica que a busca por uma solução ótima em tempo polinomial é computacionalmente inviável para grandes instâncias (LI *et al.*, 2022). Diante disso, técnicas de Inteligência Artificial (IA) e algoritmos de otimização,

particularmente metaheurísticas como o *Simulated Annealing*, têm se mostrado eficazes na busca de soluções satisfatórias dentro de um tempo computacional viável (Zhang *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022).

Este artigo propõe uma abordagem baseada em *Simulated Annealing* (Kirkpatrick *et al.*, 1983) para otimizar o planejamento de horários acadêmicos, implementada na linguagem *Java* e utilizando o framework *Timefold AI* (Timefold AI, 2024) e apresenta os resultados preliminares. Este trabalho contribui para a literatura ao aplicar uma solução prática e escalável para o UCTP, com potencial para melhorar a gestão de recursos em instituições de ensino superior.

Neste estudo, o planejamento de horários acadêmicos foi abordado utilizando um *dataset* representativo de uma universidade real, contendo dados sobre salas, professores, disciplinas e preferências de alocação. Esse *dataset* foi utilizado para modelar a situação real de uma instituição de ensino superior e simular o planejamento de horários. Isso possibilita a geração de resultados com alta aplicabilidade prática, uma vez que o algoritmo proposto lida com dados reais e enfrenta as mesmas restrições que uma universidade enfrenta no dia a dia, como conflitos de sala e superlotação de turmas.

119

2 ESTRUTURA E MODELAGEM DO PROBLEMA

2.1 Definição do Problema

O UCTP envolve a alocação eficiente de recursos limitados, como salas de aula, professores e turmas de alunos, sob um conjunto de restrições rigorosas (*hard*) e flexíveis (*soft*). As restrições *hard* referem-se a requisitos obrigatórios, como a capacidade física das salas e a disponibilidade de professores. Já as restrições *soft* incluem preferências que podem ser flexibilizadas, como a sequência de aulas consecutivas para um mesmo professor ou a compactação de horários para turmas.

Restrições *hard* incluem:

- Conflito de horários entre professores;
- Capacidade máxima de alunos em uma sala;
- Não há sobreposição de horários entre disciplinas obrigatórias para o mesmo grupo de estudantes.

Restrições *soft* incluem:

- Preferências de horários dos professores;
- Aulas consecutivas para uma mesma turma;
- Alocação de disciplinas optativas em horários compatíveis com a grade regular.

No contexto deste estudo, o objetivo é encontrar uma solução que atenda às restrições *hard* e minimize as penalizações associadas às restrições *soft*. À medida que o número de recursos e variáveis aumenta, o problema torna-se mais complexo, inviabilizando soluções manuais.

2.2 Dataset

Neste estudo, o planejamento de horários acadêmicos foi abordado utilizando um *dataset* representativo de uma universidade real, contendo dados sobre salas, professores, disciplinas e preferências de alocação. Esse *dataset* foi utilizado para modelar a situação real de uma instituição de ensino superior e simular o planejamento de horários. Isso possibilita a geração de resultados com alta aplicabilidade prática, uma vez que o algoritmo proposto lida com dados reais e enfrenta as mesmas restrições que uma universidade enfrenta no dia a dia, como conflitos de sala e superlotação de turmas.

120

2.3 Modelagem Computacional

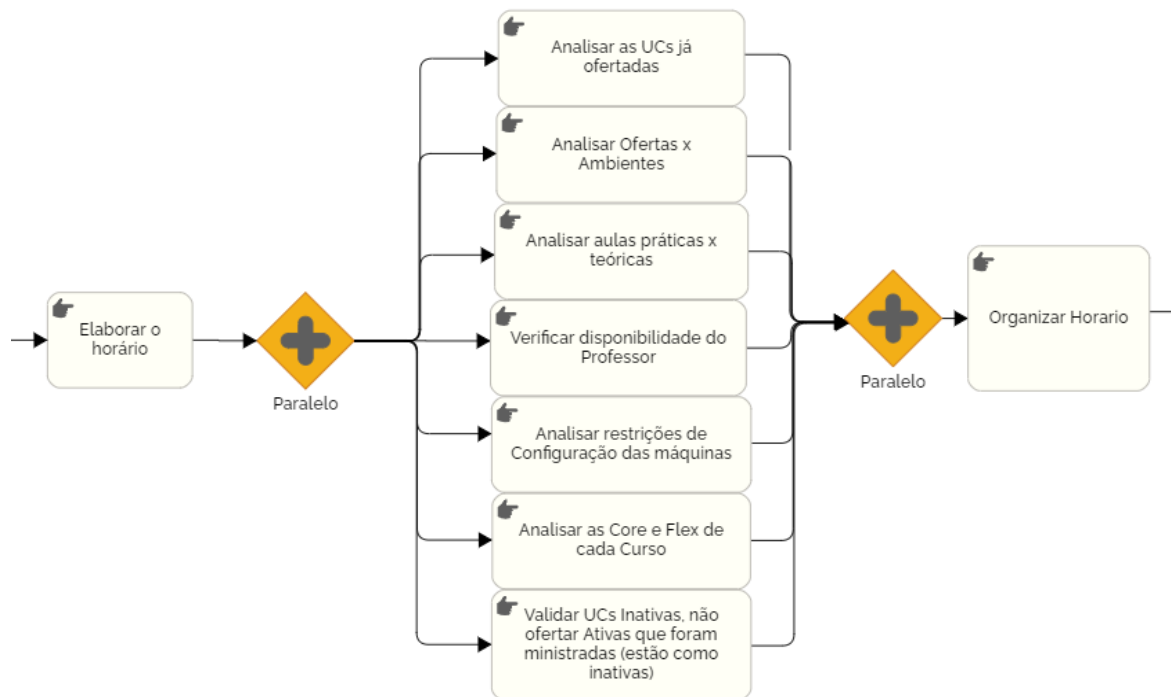
A modelagem computacional do problema foi estruturada em classes representativas dos elementos chave, como salas, professores e disciplinas. A principal entidade modelada foi a classe "Lesson", que encapsula uma aula específica alocada a um horário, sala e professor. O algoritmo de otimização ajusta dinamicamente essas variáveis para explorar o espaço de soluções e encontrar combinações que atendam às restrições impostas.

O fluxo de trabalho do sistema começa com a análise das demandas acadêmicas, realizada pelo Núcleo Docente Estruturante (NDE), seguida pela alocação automática dos horários, conforme representado na Figura 1.

O fluxo de trabalho do sistema começa com a análise das demandas acadêmicas, realizada pelo Núcleo Docente Estruturante (NDE), seguida pela alocação automática dos

horários. Conforme definido na Figura 1, é definido o escopo de atuação da inteligência artificial.

Figura 1 – Escopo de atuação da inteligência artificial



Fonte: Autoria própria

O fluxo de trabalho inicia com a análise de necessidades por parte do NDE, que define a oferta de disciplinas, considerando a disponibilidade de salas, professores e a demanda por disciplinas obrigatórias e optativas. O sistema automatiza a etapa de alocação de horários, garantindo que as soluções respeitem as restrições estabelecidas.

3 PROPOSTA DE ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO

3.1 Escolha do Algoritmo

O algoritmo *Simulated Annealing* foi selecionado para a otimização do planejamento de horários devido à sua capacidade de explorar espaços de busca complexos e escapar de mínimos locais. Inicialmente, o algoritmo permite soluções de menor qualidade, mas, à medida que "esfria", ele converge para soluções de melhor qualidade, respeitando as penalizações impostas

pelas restrições *hard* e *soft* (QU *et al.*, 2009).

A escolha do *Simulated Annealing* também foi motivada por sua simplicidade e eficácia em resolver problemas de otimização combinatória, comparado a outras técnicas como Algoritmos Genéticos ou *Tabu Search* (LEWIS, 2008).

3.2 Implementação

A implementação foi realizada em Java, com o framework Timefold AI, que oferece suporte para técnicas de otimização baseadas em metaheurísticas. A escolha do Timefold AI foi motivada por sua compatibilidade com a modelagem do problema e pela facilidade de integração com o algoritmo *Simulated Annealing*. A linguagem Java foi escolhida devido à sua robustez e à familiaridade da equipe de desenvolvimento com a plataforma.

O *Simulated Annealing* foi implementado considerando as informações extraídas de um *dataset* real de uma universidade, contendo detalhes como a alocação de salas, disponibilidade de professores e demandas de disciplinas. Esses dados foram inseridos no modelo como parâmetros iniciais, permitindo que o algoritmo trabalhasse diretamente com as condições reais enfrentadas pela instituição.

122

4 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

O desempenho do sistema foi avaliado com base em métricas que contabilizam as penalizações *hard* e *soft*. O score final da solução é determinado pela soma das penalizações, sendo o objetivo minimizar as penalizações *hard*, que inviabilizam a solução, e reduzir ao máximo as penalizações *soft*, que refletem preferências, mas não impedem o funcionamento da solução.

As principais métricas utilizadas foram:

- **Penalizações *hard*:** Conflitos de sala, superlotação de turmas e indisponibilidade de professores.
- **Penalizações *soft*:** Preferências por horários sequenciais para professores e compactação de aulas para turmas.

As penalizações *hard* e *soft* foram calculadas a partir dos dados contidos no *dataset* da universidade, refletindo a realidade das restrições impostas pela instituição. Conflitos de sala e

superlotação de turmas foram diretamente extraídos do *dataset* e usados para validar a eficácia do algoritmo em lidar com as limitações presentes no cenário real.

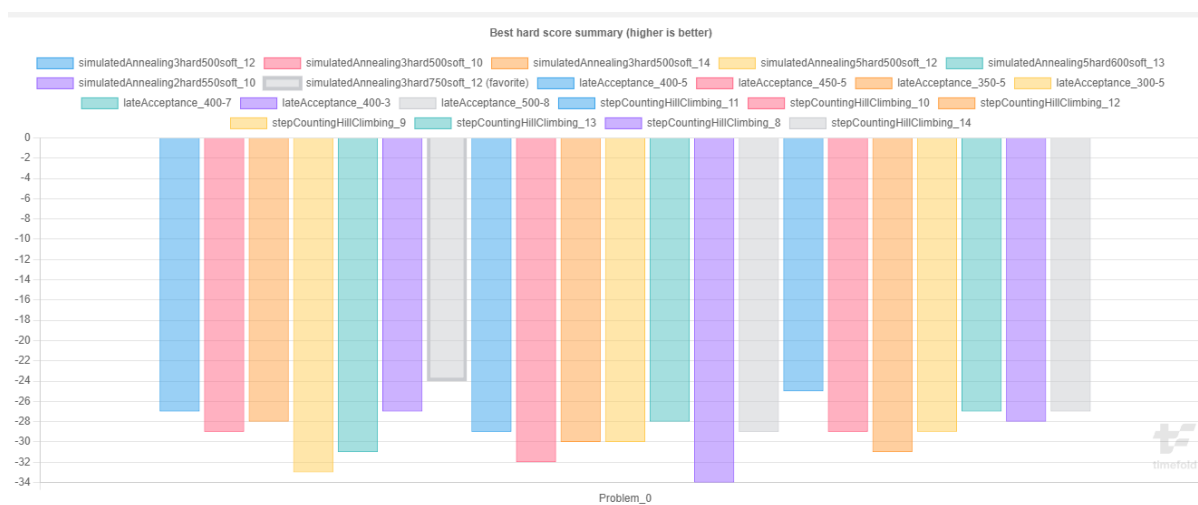
5 RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO

Os resultados preliminares indicam que o Simulated Annealing, quando aplicado ao *dataset* da universidade, foi capaz de reduzir significativamente as penalizações hard e otimizar as soft. Além disso, o tempo de execução foi drasticamente reduzido, com as soluções sendo geradas em minutos, contrastando com os métodos manuais, que podem levar dias.

As informações extraídas do *dataset*, como a distribuição de turmas e disponibilidade de salas, permitiram uma simulação precisa das condições reais da universidade, resultando em soluções viáveis e realistas.

A Figura 3 apresenta um comparativo de desempenho entre diferentes algoritmos de otimização, destacando a superioridade do Simulated Annealing no problema trabalhado.

Figura 3 – Comparativo de desempenho entre algoritmos de otimização



Fonte: Autoria própria.

A **Figura 3** indica que o sistema de otimização baseado em *Simulated Annealing* foi capaz de gerar soluções viáveis para o planejamento de horários, minimizando significativamente as penalizações *hard* e otimizando as *soft*. O tempo de execução também foi consideravelmente reduzido, com as grades horárias sendo geradas em minutos, em comparação com os métodos manuais, que podem levar dias.

Além disso, o sistema demonstrou flexibilidade para incluir variáveis adicionais, como disciplinas optativas e preferências de professores. Isso torna a solução escalável e adaptável a diferentes contextos institucionais, oferecendo uma solução eficiente e prática para o problema de planejamento de horários.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este estudo propôs e implementou uma solução baseada em técnicas de Inteligência Artificial para o planejamento de horários acadêmicos, utilizando o algoritmo *Simulated Annealing*. A implementação foi eficaz em reduzir o tempo de planejamento e gerar horários que atendem às restrições *hard*, além de otimizar as preferências *soft*. A solução mostrou-se escalável e eficiente, com potencial para ser aplicada em larga escala, melhorando significativamente a gestão de recursos em instituições de ensino superior.

O uso de um *dataset* real de uma universidade permitiu que o estudo avaliasse a eficácia do algoritmo *Simulated Annealing* em um cenário prático. Ao lidar com dados reais de alocação de recursos, o sistema demonstrou ser capaz de gerar soluções escaláveis que atendem às restrições impostas pela instituição, provando a viabilidade da abordagem para aplicações no mundo real.

Futuras melhorias incluem a incorporação de mais variáveis e restrições contextuais, como preferências específicas de alunos, e a adaptação do sistema para diferentes cenários acadêmicos, além do teste de outras metaheurísticas para comparação de desempenho.

REFERÊNCIAS

KIRKPATRICK, Scott; GELATT, C. Daniel; VECCHI, Mario P. The theory and practice of simulated annealing. *Journal of Statistical Physics*, v. 34, n. 5, p. 975-986, 1983.

LE, T.; TRAN, T.; PHAM, Q. A heuristic approach for the university course timetabling problem with flexible time windows. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 72, 125-137, 2021.

LI, Y.; LIU, X.; WANG, Z. Solving large-scale course timetabling problems with hybrid algorithms. *Computers & Operations Research*, 138, 105556, 2022.

MÜLLER, T.; NEŠETŘIL, J.; OLOUDA, D. Complexity and algorithms for university timetabling. *Operations Research Letters*, 49(4), 522-530, 2021.

TIMEFOLD AI. *Overview*: Timefold Documentation. Disponível em: <https://docs.timefold.ai/timefold-solver/latest/quickstart/overview>. Acesso em: 17 set. 2024.

WANG, S.; ZHAO, Y.; CHEN, X. A metaheuristic algorithm for solving NP-hard scheduling problems: Simulated Annealing approach. *Optimization Methods and Software*, 37(6), 1294-1309, 2022.

ZHANG, P.; HE, X.; LIU, F. An enhanced simulated annealing algorithm for course timetabling with hard and soft constraints. *Expert Systems with Applications*, 171, 114576, 2021.