

Implementação de um SAT Solver

Lucas Bazante, José Eduardo

9 de Dezembro, 2025

Slide 1: Introdução

Boolean Satisfiability Problem (SAT)

- ▶ O problema da satisfiabilidade Booleana refere-se a possibilidade de encontrar atribuições de valores para variáveis de forma que a fórmula Booleana a que elas pertencem tornem-se verdadeiras.
- ▶ SAT foi o primeiro problema a ser mostrado NP-Completo (Cook 1971) , e possui ampla relevância acadêmica e industrial, com SAT solvers sendo utilizados em diversas áreas tais quais: Inteligência Artificial, Bioinformática, Verificação de Software e etc.
- ▶ Neste trabalho focamos na implementação de um Max-SAT solver e a comparação de seus resultados com outras duas implementações (DPLL e WalkSAT).

Slide 2: Max-SAT

Maximum Satisfiability (Max-SAT)

- ▶ Enquanto o SAT é um problema de decisão, o Max-SAT é um problema de combinatória.
- ▶ O Max-SAT consiste em encontrar uma atribuição que satisfaça o maior número possível de cláusulas.

Slide 3: Iterated Local Search (ILS)

- ▶ A Iterated Local Search (Lourenco, Martin, and Stutzle 2001) é uma metaheurística de busca local.
- ▶ A busca local tradicional pode chegar a um máximo local e não progredir mais.
- ▶ ILS utiliza-se de dois passos para resolver isso: um para encontrar ótimos locais de forma eficiente (**Intensificação**) e outro para escapar de estados locais (**Perturbação**).

Slide 3.1: Iterated Local Search (ILS)

Pseudocódigo

```
function ILS()
    s0 = GerarSolucaoInicial()
    s = BuscaLocal(s0)
    while(!condicao_de_parada) do
        s' = pertubacao(s)
        s'' = BuscaLocal(s')
        s = criterio_de_aceitacao(s, s'')
    end

    retorno s
end
```

Slide 4: Estado da Arte

Solvers Incompletos (Busca Local)

- ▶ **NuWLS-c** (Chu and Cai 2024): Baseado em **Busca Local Estocástica (SLS)**, combina a heurística de **Configuration Checking (CC)** com esquemas de **Dynamic Clause Weighting** para alternar entre intensificação e diversificação.

Solvers Completos (Exatos)

- ▶ **RC2** (Ignatiev, Morgado, and Marques-Silva 2019): Implementa uma abordagem **Core-Guided** que utiliza *Soft Cardinality Constraints* e **Estratificação de Pesos** para o relaxamento iterativo.
- ▶ **CASHWMaxSAT** (Li et al. 2025): Integra técnicas de **Component Caching** com heurísticas de poda via **Branch-and-Bound**, otimizando a gestão de memória e a redução do espaço de busca.

Slide 5: Implementações

- ▶ DPLL + VSIDLS (Algoritmo Exato)
- ▶ WalkSAT (Algoritmo Aproximativo)
- ▶ ILS (Metaheurística)

Slide 6: Metodologia

Para testar a eficácia e corretude dos algoritmos, foram utilizados conjuntos de testes disponibilizados pela biblioteca **SATLIB** (Hoos and Stützle 2000).

- ▶ uuf50-218
- ▶ uuf75-325
- ▶ uuf200-860
- ▶ uf50-218
- ▶ flat30-60

Slide 6 : ILS em problemas UNSOLVABLE

Test Suite	Num. Instancias	Tempo Total (m)	Tempo Médio (s)	Mediana do Tempo (s)	Média de clausulas satisfeitas
uuf50-218	1000	162.46	9.74	9.72	216.9
uuf75-325	100	22.31	13.74	13.78	310.4
uuf200-860	99	55.18	33.44	33.49	858.4

Table 1: Resultados do ILS

Slide 7 : DPLL vs WalkSAT vs ILS

Algoritmo	Tempo Total (m)	Tempo Médio (s)	Mediana do Tempo (s)	Média de clausulas satisfeitas
ILS	162.46	9.74	9.72	216.92
WalkSAT	224.48	13.46	13.43	211.73
DPLL	7.6	0.46	0.43	0

Table 2: Resultados de cada algoritmo no conjunto de testes uuf50-218

Slide 8: Conclusão

- ▶ Limitação de Métodos Exatos: O DPLL confirma rapidamente a insatisfatibilidade, mas não optimiza a solução parcial, tornando-o inviável para Max-SAT puro.
- ▶ Eficácia do ILS: O mecanismo de *perturbação* permitiu escapar de ótimos locais onde o WalkSAT estagnou, resultando em mais cláusulas satisfeitas em menos tempo.

Referências

- Chu, Yi, and Shaowei Cai. 2024. “NuWLS-c: An Efficient Local Search Solver for Partial MaxSAT.” In *Proceedings of the MaxSAT Evaluation 2024*.
- Cook, Stephen A. 1971. “The Complexity of Theorem-Proving Procedures.” In *Proceedings of the Third Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 151–58. STOC '71. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/800157.805047>.
- Hoos, Holger H, and Thomas Stützle. 2000. “SATLIB: An Online Resource for Research on SAT.” *Sat* 2000: 283–92.
- Ignatiev, Alexey, Antonio Morgado, and Joao Marques-Silva. 2019. “RC2: An Efficient MaxSAT Solver.” In *Journal on Satisfiability, Boolean Modeling and Computation*.
- Li, Chu-Min et al. 2025. “An Efficient Core-Guided Solver for Weighted Partial MaxSAT.” In *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*.