

# AUTOTUNING USANDO BUSCA ESTOCÁSTICA LOCAL E PARALELISMO NA LINGUAGEM JULIA

---

Pedro Bruel

[phrb@ime.usp.br](mailto:phrb@ime.usp.br)

Alfredo Goldman

[gold@ime.usp.br](mailto:gold@ime.usp.br)

29 de Setembro de 2015



Instituto de Matemática e Estatística  
Universidade de São Paulo

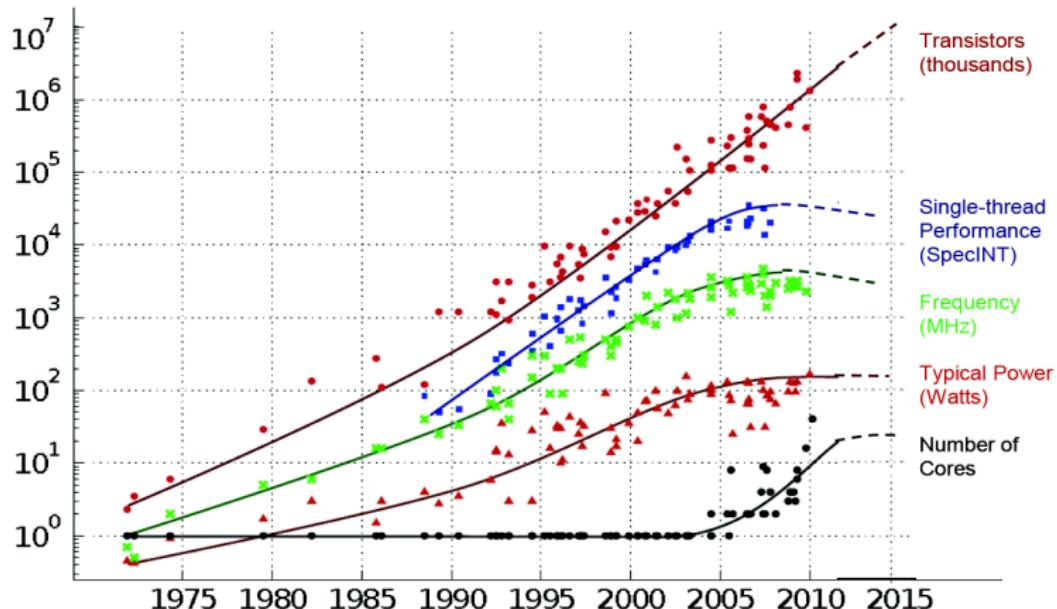
1. Motivação e Perguntas de Pesquisa
2. Autotuning & OpenTuner
3. Busca Estocástica Local
4. StochasticSearch.jl
5. Trabalhos Futuros

# MOTIVAÇÃO

---

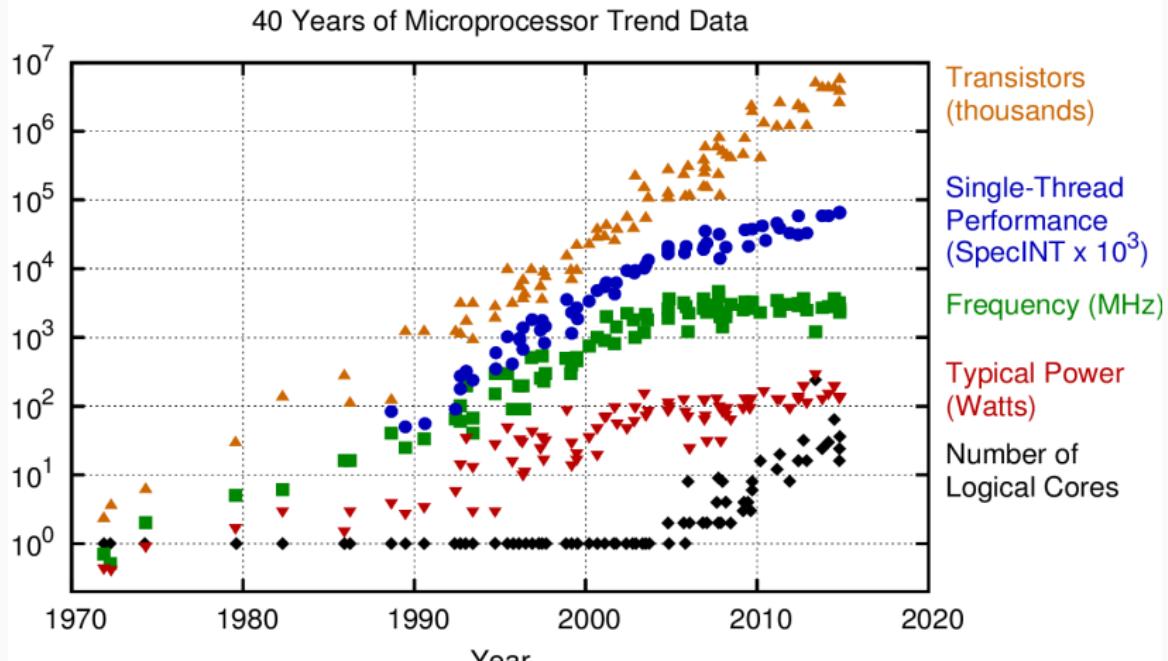
- Modelos de programação paralela e distribuída
- Arquiteturas multi-core e co-processadores
- Autotuning com programação paralela e distribuída
- Problemas computacionalmente difíceis
- Estudar o desempenho da Busca Estocástica Local

## 35 YEARS OF MICROPROCESSOR TREND DATA



Original data collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond and C. Batten  
Dotted line extrapolations by C. Moore

# MOTIVAÇÃO



Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten  
New plot and data collected for 2010-2015 by K. Rupp

<http://karlrupp.net/2015/06/40-years-of-microprocessor-trend-data>

Visão geral:

- **RQ0:** Como e quando aplicar técnicas de autotuning a problemas difíceis e arquiteturas heterogêneas?
- **RQ1:** Técnicas de busca estocástica apresentam alguma vantagem em relação a outras técnicas de autotuning?
- **RQ2a:** Como utilizar programação paralela e distribuída para melhorar o desempenho de autotuners?
- **RQ2b:** Para quais domínios de problema isso é vantajoso?
- **RQ3:** Como aproveitar medições de desempenho obtidas em arquiteturas diferentes da arquitetura alvo?

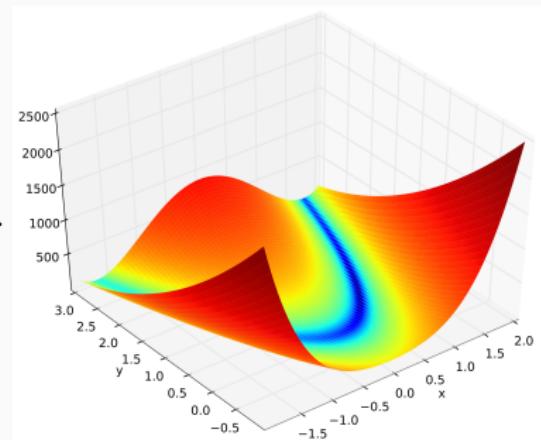
Com este trabalho em andamento, gostaríamos de avançar em direção a responder:

- RQ1: Técnicas de busca estocástica apresentam alguma vantagem em relação a outras técnicas de autotuning?
- RQ2a: Como utilizar programação paralela e distribuída para melhorar o desempenho de autotuners?
- RQ2b: Para quais domínios de problema isso é vantajoso?

## Configurações e Otimizações



## Espaço de Busca





- Arcabouço para autotuning
- Independente de domínio
- Conjuntos de técnicas de busca
- Compartilhamento de resultados entre técnicas
- Execução sequencial

---

Código sob Licença MIT: <http://github.com/jansel/opentuner>

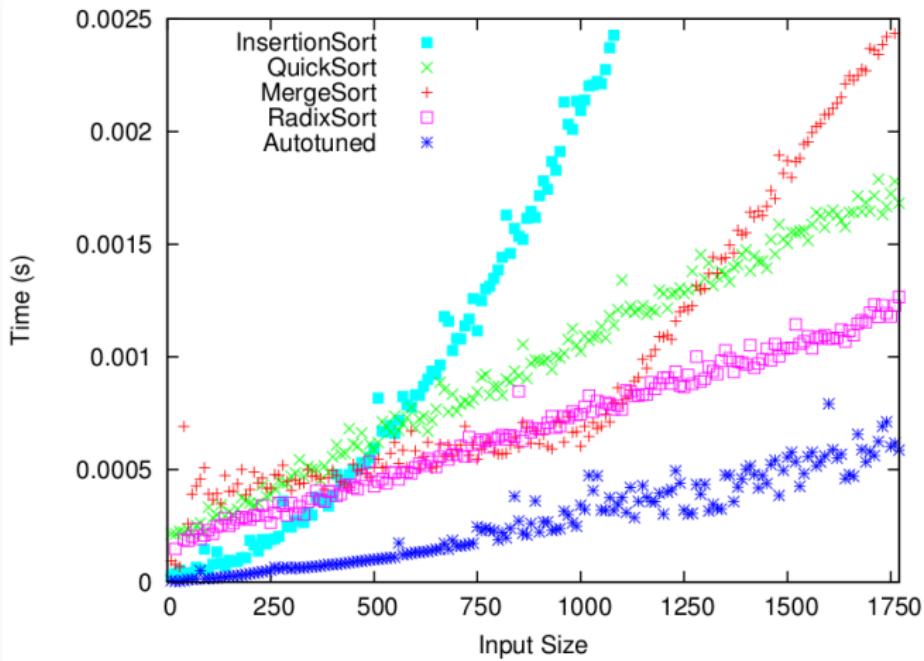


Figura 1: Otimizando combinações de algoritmos recursivos de ordenação

Trabalho com OpenTuner em andamento:

- Computação Distribuída (**Google Compute Engine**):

[github.com/phrb/gce\\_autotuning\\_example](https://github.com/phrb/gce_autotuning_example)

[github.com/phrb/measurement\\_client](https://github.com/phrb/measurement_client) [github.com/phrb/gce\\_interface](https://github.com/phrb/gce_interface)

[github.com/phrb/measurement-server](https://github.com/phrb/measurement-server)

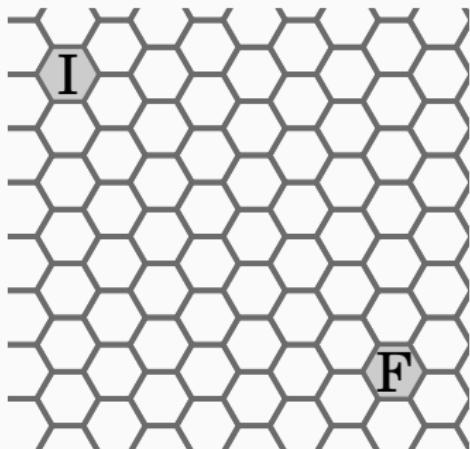
- Parâmetros de compilação em GPUs (**CUDA**):

[github.com/phrb/gpu-autotuning](https://github.com/phrb/gpu-autotuning)

- Resolvedores de **SAT** e **TSP**:

[github.com/phrb/sat-opentuner](https://github.com/phrb/sat-opentuner) [github.com/phrb/stochasticsearch-docs](https://github.com/phrb/stochasticsearch-docs)

# BUSCA ESTOCÁSTICA LOCAL



---

Adaptado de: Hoos, Holger H., and Thomas Stützle. *Stochastic local search: Foundations & applications*. Elsevier, 2004.

Os algoritmos de Busca Estocástica Local consistem de **heurísticas** para a exploração de um espaço de busca.

- Naturalmente **paralelas e distribuídas**
- Podem ser **combinadas** para gerar novas heurísticas
- **Fáceis** de implementar
- **Estado da Arte**<sup>1</sup> na solução de problemas computacionalmente difíceis

---

<sup>1</sup>Hutter, Frank, et al. *ParamILS: an automatic algorithm configuration framework*. Journal of Artificial Intelligence Research 36.1 (2009): 267-306.

# COMPOSIÇÃO

---

Alguns blocos de construção:

- First Improvement
- Best Improvement
- Probabilistic Improvement
- Greedy Construction
- Random Walk

Exemplo de composição:

*ProbabilisticImprovement(Temperatura) → SimulatedAnnealing*

Principais referências:

- [1] Hoos, Holger H., and Thomas Stützle. *Stochastic local search: Foundations & applications*. Elsevier, 2004.
- [2] Hoos, Holger H., and Thomas Stützle. *Stochastic Local Search Algorithms: An Overview*. Springer Handbook of Computational Intelligence. Springer Berlin Heidelberg, 2015. 1085-1105.
- [3] Hutter, Frank, et al. *ParamILS: an automatic algorithm configuration framework*. Journal of Artificial Intelligence Research 36.1 (2009): 267-306.

Por que uma nova implementação?

OpenTuner:

- Permite **pouco controle** do fluxo de execução
- Python: **Global Interpreter Lock**
- Busca e Medições **sequenciais**
- Não é fácil de **paralelizar**

Outros motivos:

- Estudar a **composição** e o **desempenho** de técnicas de Busca Estocástica Local
- Tentativa de **reproduzir** resultados



Por que em Julia?

- Linguagem de **alto nível**
- Programação **concorrente, paralela e distribuída**
- Ótimo **desempenho**
- É um brinquedo **novo**
- Comunidade bastante **ativa**

---

Código sob Licença MIT: <http://github.com/JuliaLang/julia>

# PROGRAMAÇÃO PARALELA E DISTRIBUÍDA EM JULIA

O paralelismo em Julia é feito através da troca de mensagens entre processos:

- Diferente do MPI, o usuário controla explicitamente **apenas um processo**
- **Remote calls**: executam uma **expressão** em outro processo e devolvem uma referência remota (**RemoteRef**)
- **Remote references**: Contém uma referência para objetos em outros processos

---

<http://docs.julialang.org/en/stable/stdlib/parallel>

<http://docs.julialang.org/en/stable/manual/parallel-computing/>

# PROGRAMAÇÃO PARALELA E DISTRIBUÍDA EM JULIA

Um **ClusterManager** é responsável por:

- Lançar processos (**workers**) Julia numa rede
- Gerenciar **eventos e comunicação** entre processos
- Gerenciar o **transporte de dados**

Algumas funções e objetos disponíveis:

LocalManager :: ClusterManager

SSHManager :: ClusterManager

`addprocs()`  
`rmprocs()`  
`procs()`

---

<http://docs.julialang.org/en/stable/stlib/parallel>

<http://docs.julialang.org/en/stable/manual/parallel-computing/>

# PROGRAMAÇÃO PARALELA E DISTRIBUÍDA EM JULIA

Chamadas de funções:

```
Task(func)
remotecall(id, func, args...)
remotecall_fetch(id, func, args...)
remotecall_wait(id, func, args...)
```

```
put!(RemoteRef, value)
take!(RemoteRef)
```

```
fetch(RemoteRef)
wait(RemoteRef)
```

```
produce(value)
consume(Task, values...)
```

---

<http://docs.julialang.org/en/stable/stdlib/parallel>

<http://docs.julialang.org/en/stable/manual/parallel-computing/>

# PROGRAMAÇÃO PARALELA E DISTRIBUÍDA EM JULIA

Usando macros:

`@task()`

`@spawn()`

`@spawnat()`

`@fetch() = fetch(@spawn expr)`

`@fetchfrom() = fetch(@spawnat p expr)`

`@async()`

`@sync()`

`@parallel()`

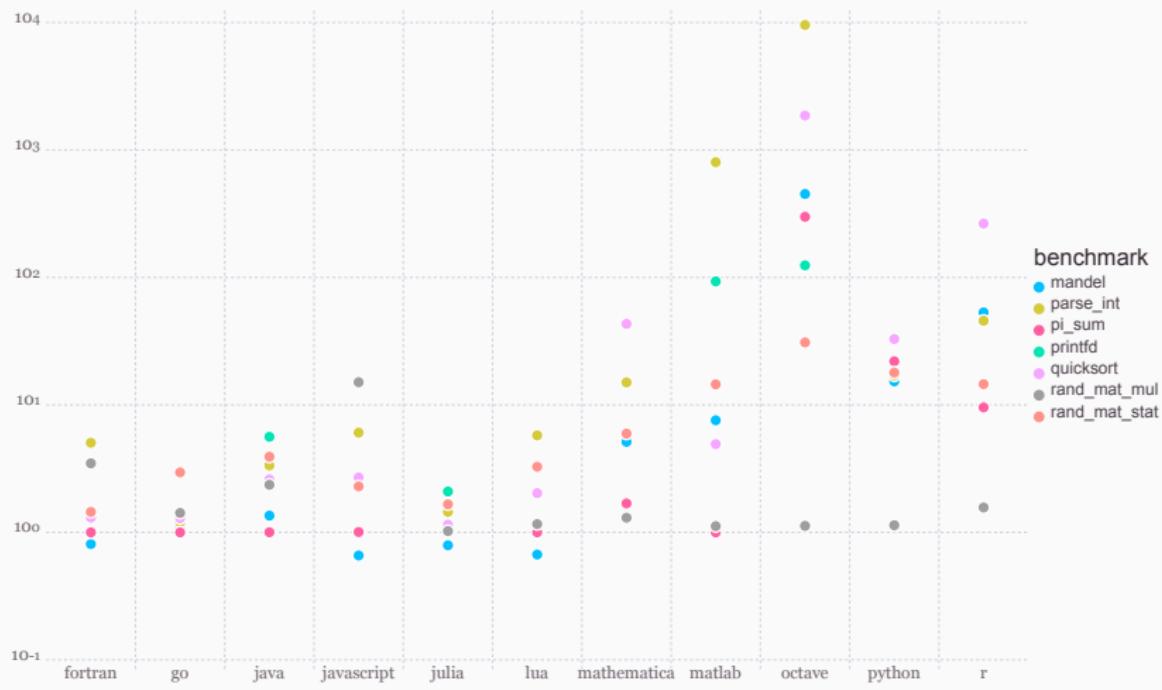
`@everywhere()`

---

<http://docs.julialang.org/en/stable/stdlib/parallel>

<http://docs.julialang.org/en/stable/manual/parallel-computing/>

## Comparações de desempenho relativo à linguagem C:



<http://julialang.org/benchmarks>



StochasticSearch.jl

- Pacote para Busca Estocástica Local
- Independente de domínio
- Conjuntos de técnicas de busca
- Técnicas de execução independente
- Técnicas de busca modulares
- Execução paralela e distribuída
- Maior controle do fluxo de execução

- Código sob Licença MIT: <http://github.com/phrb/StochasticSearch.jl>
- Disponível no **repositório oficial**:

```
julia> Pkg.add("StochasticSearch")
```

- Testes de Unidade: **97%** de cobertura:  
<https://coveralls.io/github/phrb/StochasticSearch.jl>
- Integração Contínua (**TravisCI**):  
<https://travis-ci.org/phrb/StochasticSearch.jl>

# COMPOSIÇÃO

---

Blocos de construção:

- First Improvement
- Probabilistic Improvement
- Greedy Construction
- Random Walk
- **TODO:** Best Improvement

# COMPOSIÇÃO

Técnicas de busca usando os blocos:

DONE:

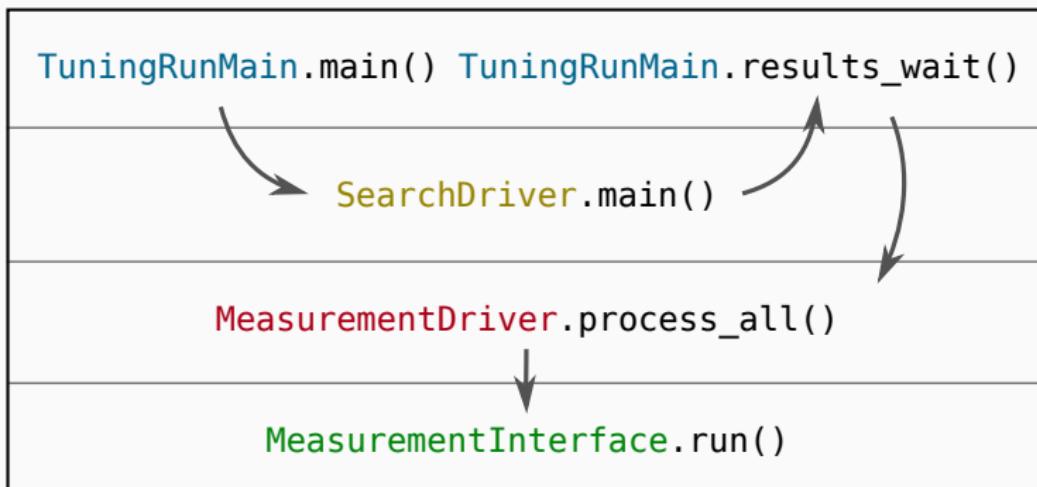
- Iterative First Improvement
- Iterative Probabilistic Improvement
- Iterative Greedy Construction
- Randomized First Improvement
- Simulated Annealing

TODO:

- Randomized Best Improvement
- Iterative Probabilistic Improvement
- Iterated Local Search
- Tabu Search
- Ant Colony Optimization
- Particle Swarm Optimization
- ...

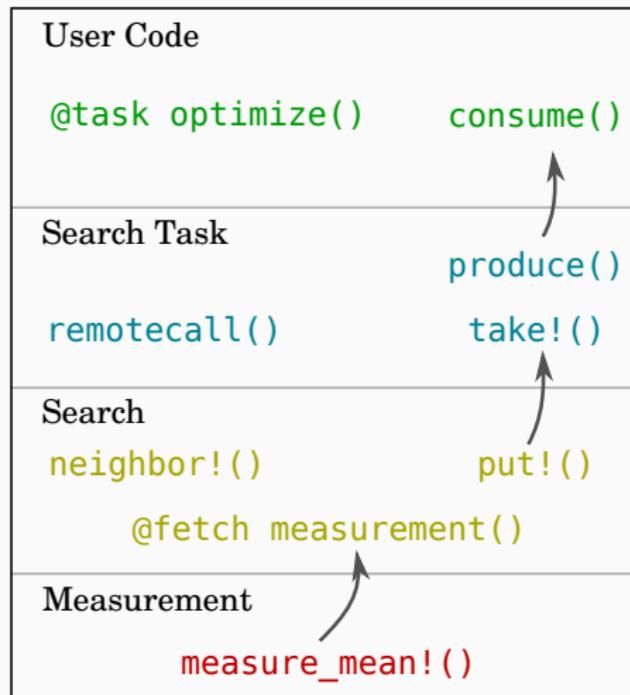
## COMPARAÇÕES: FLUXO DE EXECUÇÃO

Obtenção de um resultado no OpenTuner, simplificadamente:

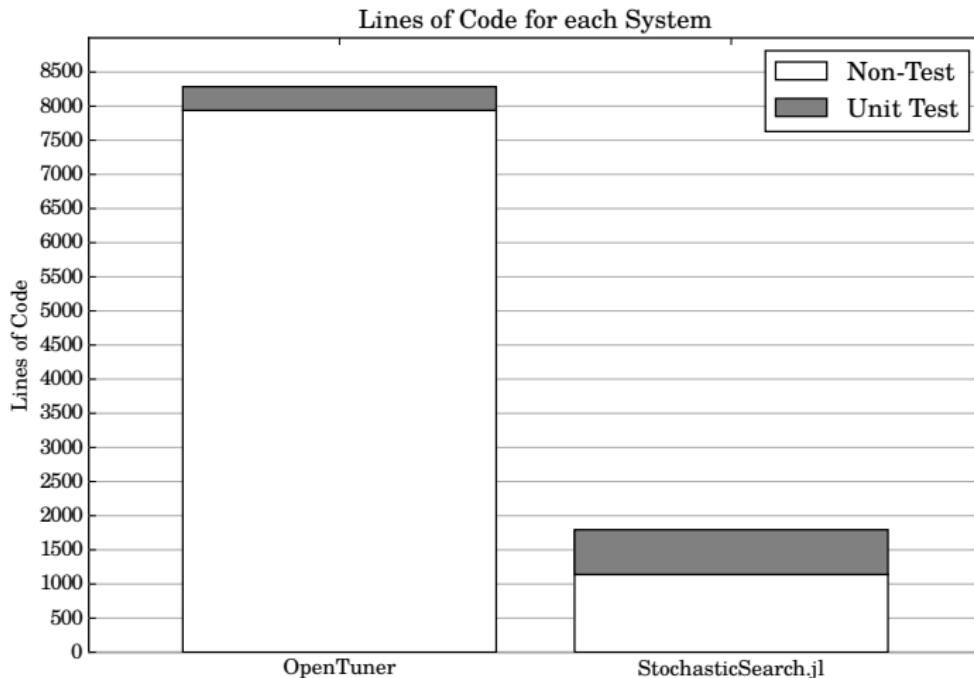


## COMPARAÇÕES: FLUXO DE EXECUÇÃO

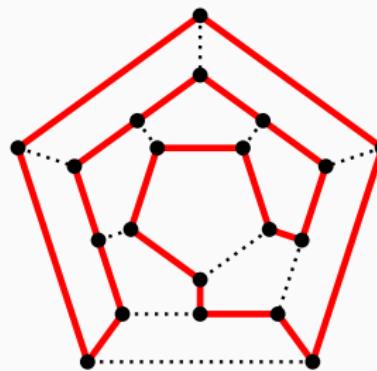
Obtenção de um resultado no StochasticSearch.jl,  
simplificadamente:



# COMPARAÇÕES: ESFORÇO DE IMPLEMENTAÇÃO



## COMPARAÇÕES: TRAVELLING SALESPERSON PROBLEM



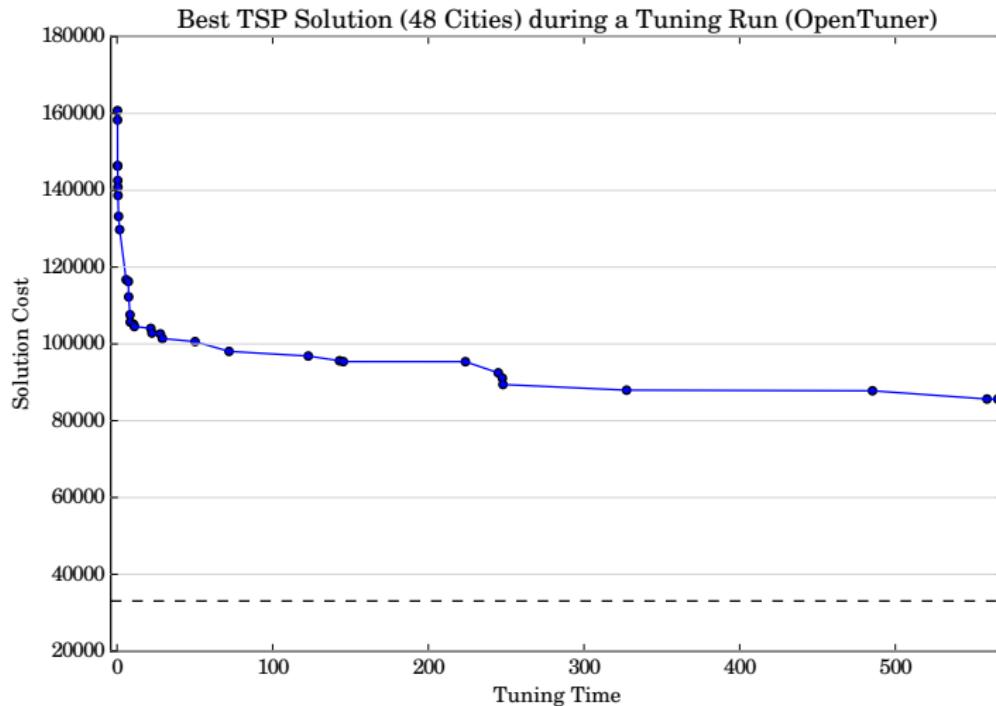
Comparação do desempenho de **autotuners** que resolvem instâncias do TSP, implementados com o OpenTuner e com o StochasticSearch.jl.

As soluções são representadas por **permutações** das cidades.

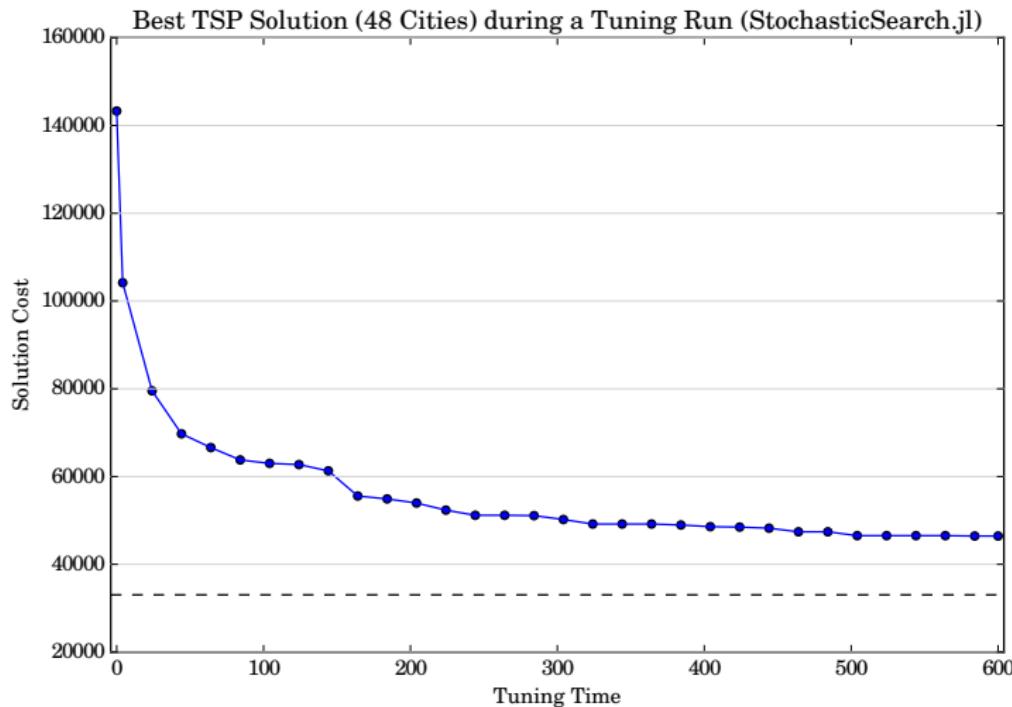
Disponível em:

<https://github.com/phrb/stochasticsearch-docs>

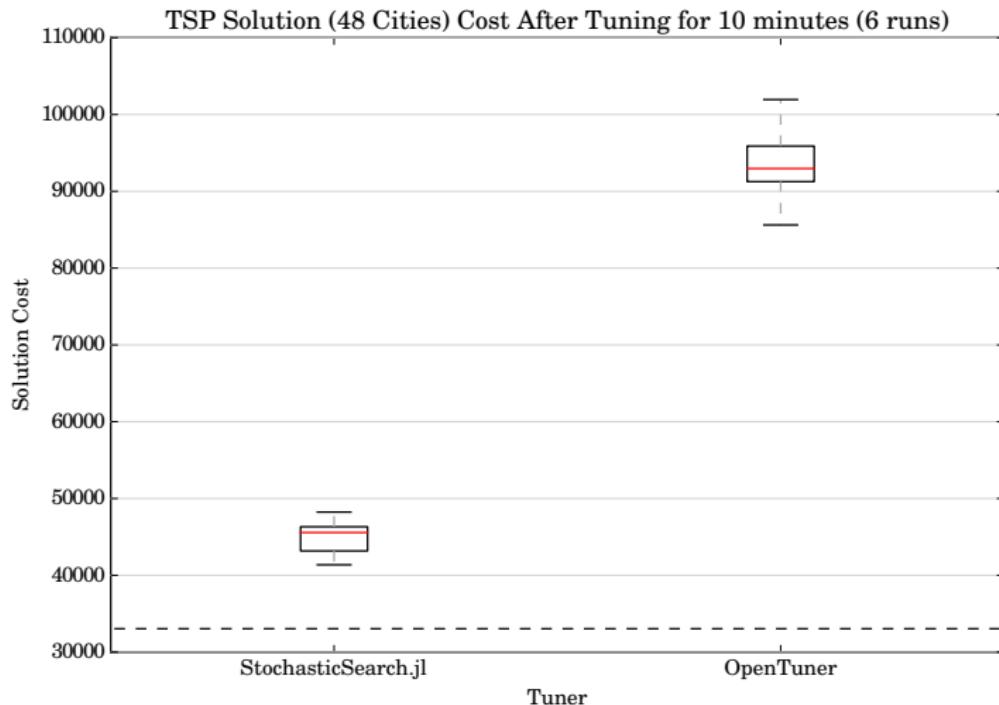
## COMPARAÇÕES: DESEMPENHO TSP (48 CIDADES)



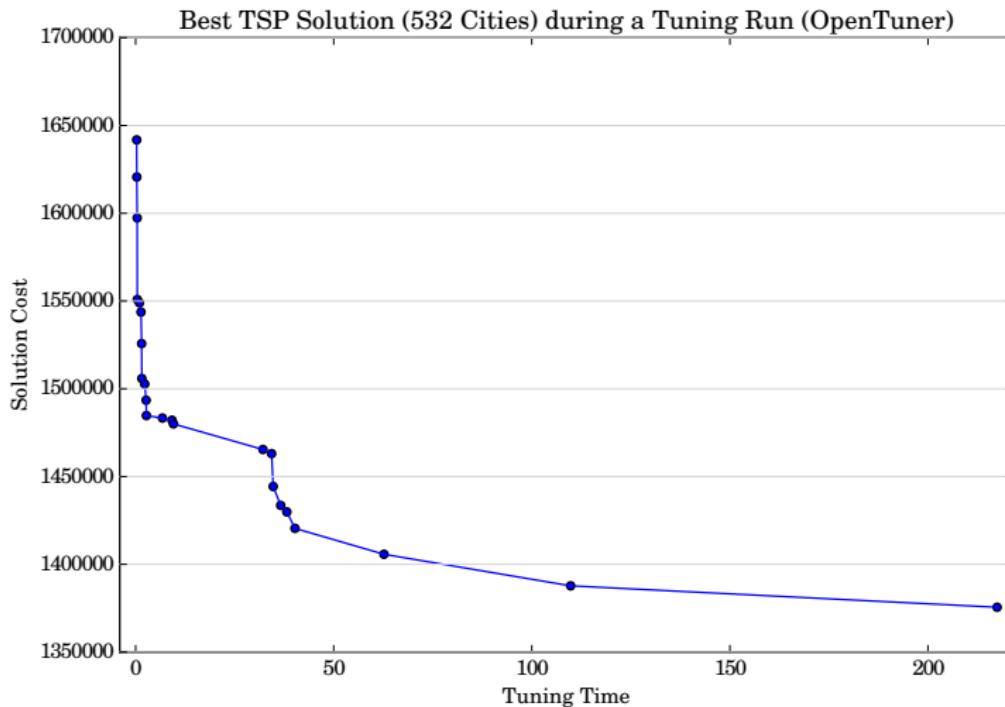
## COMPARAÇÕES: DESEMPENHO TSP (48 CIDADES)



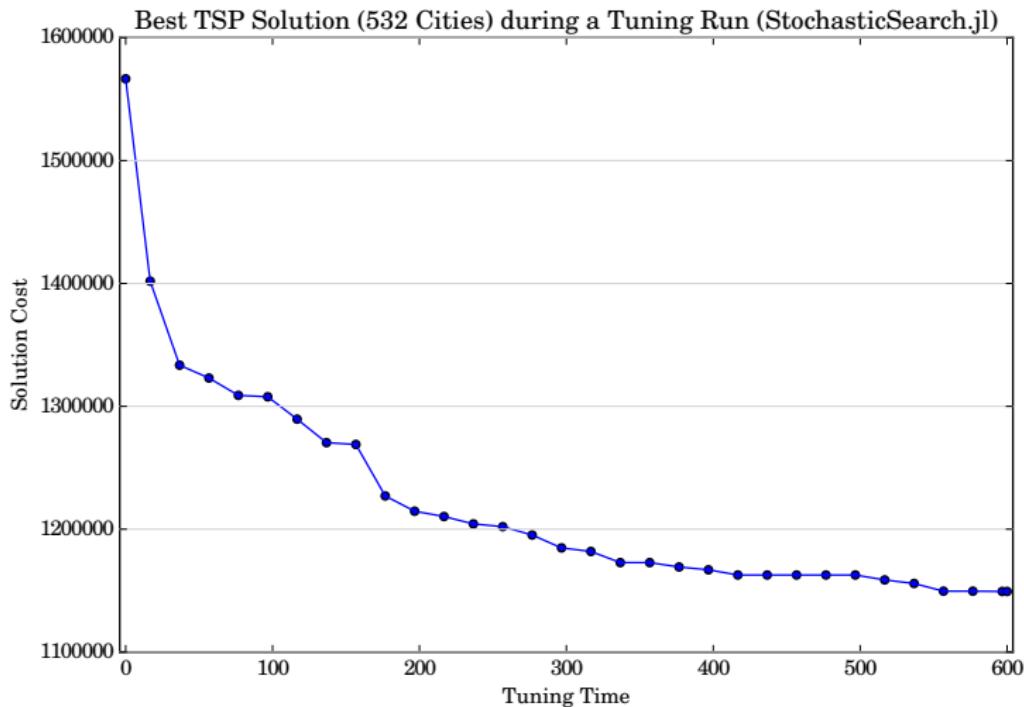
# COMPARAÇÕES: DESEMPENHO TSP (48 CIDADES)



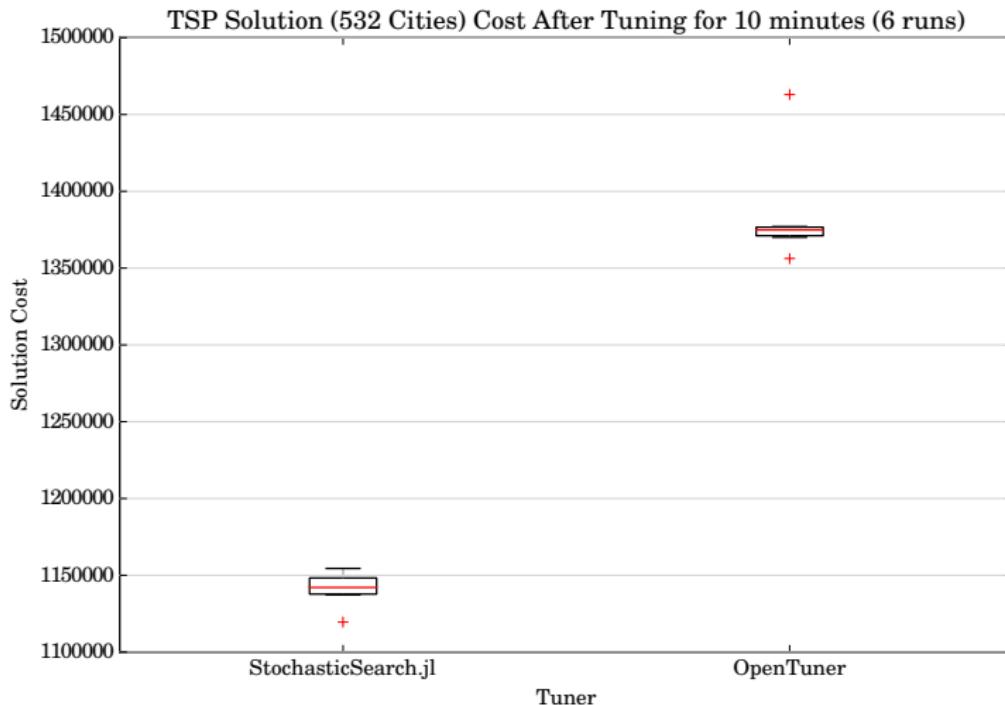
## COMPARAÇÕES: DESEMPENHO TSP (532 CIDADES)



## COMPARAÇÕES: DESEMPENHO TSP (532 CIDADES)



# COMPARAÇÕES: DESEMPENHO TSP (532 CIDADES)



- Implementar Busca Estocástica Local no OpenTuner
- Implementar ClusterManagers para GPUs e Nuvem
- Parâmetros de compilação CUDA
- Resolvedores SAT
- Experimentos com domínios diferentes
- Experimentos com execução distribuída
- Aumentar a cobertura de testes
- Implementar técnicas de busca mais “poderosas”

Responder às perguntas:

- **RQ1:** Técnicas de busca estocástica apresentam alguma vantagem em relação a outras técnicas de autotuning?
- **RQ2a:** Como utilizar programação paralela e distribuída para melhorar o desempenho de autotuners?
- **RQ2b:** Para quais domínios de problema isso é vantajoso?

OBRIGADO!

# AUTOTUNING USANDO BUSCA ESTOCÁSTICA LOCAL E PARALELISMO NA LINGUAGEM JULIA

---

Pedro Bruel

[phrb@ime.usp.br](mailto:phrb@ime.usp.br)

Alfredo Goldman

[gold@ime.usp.br](mailto:gold@ime.usp.br)

29 de Setembro de 2015



Instituto de Matemática e Estatística  
Universidade de São Paulo