

Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

DEI
DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA
INDUSTRIAL

Número 12 | 05 2021

A simheuristic approach for solving a stochastic ship scheduling problem

Tese: Solving the Deterministic and Stochastic Pipe-Laying Support Vessel Scheduling Problem

Autor(es):

Victor Abu-Marrul



Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

Número 12 | 05 2021

A simheuristic approach for solving a stochastic ship scheduling problem

Tese: Solving the Deterministic and Stochastic Pipe-Laying Support Vessel Scheduling Problem

Autor(es):

Victor Abu-Marrul

Orientador: Silvio Hamacher
Coorientador: Rafael Martinelli

CRÉDITOS:

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

Organizadores: Fernanda Baião / Soraida Aguilar

Layout da Capa: Aline Magalhães dos Santos

1

Pipe-Laying Support Vessel (PLSV)

Pipe-Laying Support Vessel



Conecta poços petrolíferos à plataformas de produção (dutos de produção, injeção de fluídos e controle)



O escoamento da produção depende das conexões



2º recurso mais caro na operação offshore



Pipe-Laying Support Vessel

ARRANJO SUBMARINO



DUTOS FLEXÍVEIS



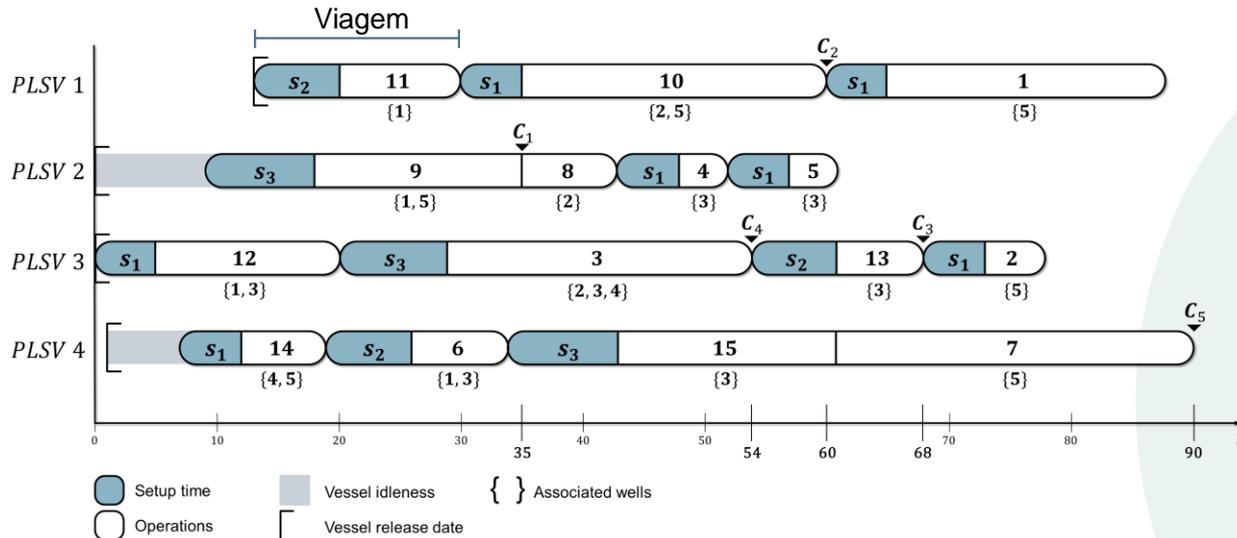
2

PLSV Scheduling Problem (PLSVSP)



PLSV Scheduling Problem

- A motivação veio a partir de um projeto no Tecgraf em parceria com a Petrobras
- O problema é análogo a um problema complexo de programação de máquinas paralelas



ASPECTOS DO PROBLEMA

- Operações organizadas em viagens
- Capacidade das embarcações
- Data de chegada de dutos
- Data de disponibilidade de navio
- Frota heterogênea
- Múltiplas operações em um poço
- Conexão de um poço afetando a produção de outro
- Tempos de setup por famílias de operações
- Setup times não antecipatórios



3

Métodos de Solução



Métodos de Solução

- 1 Modelagem Matemática
- 2 Métodos Híbridos (Matheurísticas)
- 3 Heurísticas e Metaheurísticas
- 4 Otimização-Simulação (Simheurísticas)



Métodos de Solução

Determinístico

1

Modelagem Matemática

2

Métodos Híbridos (Matheurísticas)

3

Heurísticas e Metaheurísticas

4

Otimização-Simulação (Simheurísticas)

Estocástico

Métodos de Solução

Foram desenvolvidas 3 formulações

Time-Index

Positional

Batch

Artigo Publicado na IJPR:

- Scheduling Pipe Laying Support Vessels with Non-Anticipatory Family Setup Times and Intersections between Sets of Operations



1

Modelagem Matemática

2

Métodos Híbridos (Matheurísticas)

3

Heurísticas e Metaheurísticas

4

Otimização-Simulação (Simheurísticas)

Métodos de Solução

Foram desenvolvidas 2 matheurísticas e 2 buscas locais baseadas em programação matemática

- Batch Windows
- Multi-Relocate
- GRASP-Math
- ILS-Math

Artigo em R2 na COR:

- Matheuristics for a Parallel Machine Scheduling Problem with Non-Anticipatory Family Setup Times: Application in the Offshore Oil and Gas Industry.



1 Modelagem Matemática



2 Métodos Híbridos (Matheurísticas)



3 Heurísticas e Metaheurísticas



4 Otimização-Simulação (Simheurísticas)

Métodos de Solução

Foram desenvolvidas 19 heurísticas construtivas e duas metaheurísticas com 4 buscas locais

- ILS e IGS com RVND

Um artigo foi aceito no congresso PMS e um artigo em desenvolvimento para submissão esse ano

- Heuristics for Scheduling Pipe-laying Support Vessels: An Identical Parallel Machine Scheduling Approach.

- Iterated Greedy Algorithms for a Complex Parallel Machine Scheduling Problem.



1

Modelagem Matemática

2

Métodos Híbridos (Matheurísticas)

3

Heurísticas e Metaheurísticas

4

Otimização-Simulação (Simheurísticas)

Métodos de Solução

Foi desenvolvido uma Sim-ILS considerando incertezas nos tempos de processamento e nas datas de chegadas das operações.

Um artigo está em desenvolvimento para submissão na *special issue* da ANOR: “Recent Advances in Simulation-based Optimization for Operations Research Problems”

1

Modelagem Matemática

2

Métodos Híbridos (Matheurísticas)

3

Heurísticas e Metaheurísticas

4

Otimização-Simulação (Simheurísticas)



3

PLSVSP Estocástico

PLSVSP Estocástico

- O ambiente offshore onde o PLSV opera é cercado de incertezas que em sua grande maioria afetam os tempos de processamento (durações) das operações. Como:
 - Mudanças climáticas que afetem as condições no mar
 - Complexidade das operações
 - Experiência da tripulação
 - Entre outras.
- Além disso, outra incerteza importante no problema diz respeito à chegada dos dutos no porto, afetando diretamente o planejamento definido.

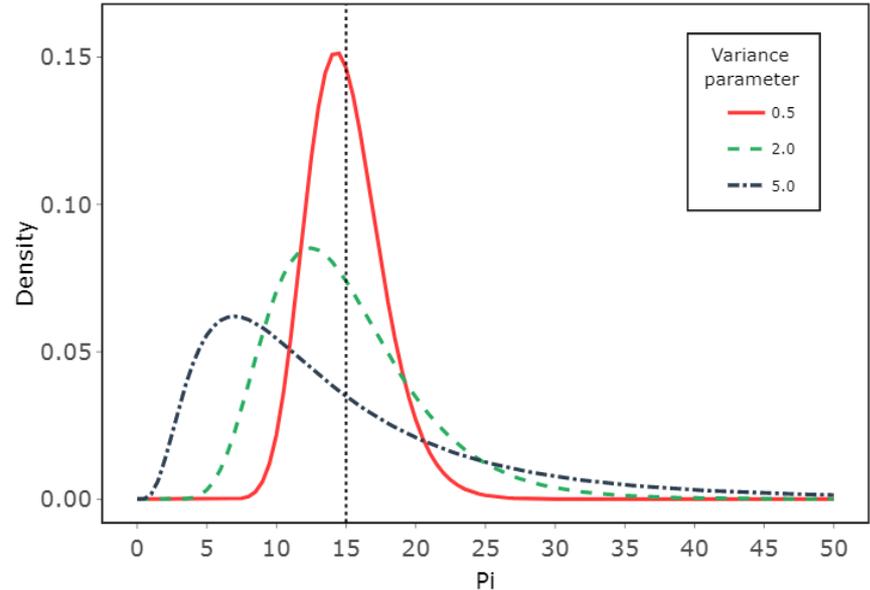
PLSVSP Estocástico

- Para modelar as incertezas usamos distribuições Log-Normal usando os parâmetros μ_i e σ_i , como proposto por Angel et al. (2016), considerando que os tempos de processamento e as datas de liberação são variáveis aleatórias P_i e R_i com $E[P_i] = p_i$ e $E[R_i] = r_i$ para cada operação i .

$$\mu_i = \ln(E[P_i]) - \frac{1}{2} \cdot \ln\left(1 + \frac{\text{Var}[P_i]}{E[P_i]^2}\right)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\text{Var}[P_i]}{E[P_i]^2}\right)}$$

$$\text{Var}[P_i] = \delta E[P_i]$$



3

Simheurística ILS (Sim-ILS)



Simheurística ILS

Algorithm 8: Multi-Start SimILS ($\eta, \rho, \psi, \omega, \Omega$)

```
1  $f(s^*) \leftarrow \infty$ 
2  $poolStoch \leftarrow \emptyset$ 
3 for  $\eta$  restarts do
4   Construct a biased randomized PLSVSP solution  $s_0$ , using the
     WMCT-WAVGA heuristic
5    $s \leftarrow RVND(s_0)$ 
6    $Simulation(s, \omega)$ 
7    $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
8   for  $\psi$  iterations do
9      $s' \leftarrow shaking(s)$ 
10     $s'^* \leftarrow RNVD(s')$ 
11    if  $f(s'^*) < f(s)$  then
12       $s \leftarrow s'^*$ 
13       $Simulation(s, \omega)$ 
14       $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
15      if  $f(s'^*) < f_{best}$  then
16         $s^* \leftarrow s'^*$ 
17      end
18    else if  $accept(s'^*, s)$  then
19       $s \leftarrow s'^*$ 
20    end
21  end
22 end
23 for  $s \in (poolStoch \cup \{s^*\})$  do
24    $Simulation(s, \Omega)$ 
25 end
26 return  $s^*, poolStoch$ 
```



Simheurística ILS

Algorithm 8: Multi-Start SimILS ($\eta, \rho, \psi, \omega, \Omega$)

```
1  $f(s^*) \leftarrow \infty$ 
2  $poolStoch \leftarrow \emptyset$ 
3 for  $\eta$  restarts do
4   Construct a biased randomized PLSVSP solution  $s_0$ , using the
     WMCT-WAVGA heuristic
5    $s \leftarrow RVND(s_0)$ 
6    $Simulation(s, \omega)$ 
7    $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
8   for  $\psi$  iterations do
9      $s' \leftarrow shaking(s)$ 
10     $s^{!*} \leftarrow RNVD(s')$ 
11    if  $f(s^{!*}) < f(s)$  then
12       $s \leftarrow s^{!*}$ 
13       $Simulation(s, \omega)$ 
14       $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
15      if  $f(s^{!*}) < f_{best}$  then
16         $s^* \leftarrow s^{!*}$ 
17      end
18    else if  $accept(s^{!*}, s)$  then
19       $s \leftarrow s^{!*}$ 
20    end
21  end
22 end
23 for  $s \in (poolStoch \cup \{s^*\})$  do
24    $Simulation(s, \Omega)$ 
25 end
26 return  $s^*, poolStoch$ 
```

Constrói uma solução heurística

Busca Local

Loop principal (Perturbação + Busca Local)



Simheurística ILS

Algorithm 8: Multi-Start SimILS ($\eta, \rho, \psi, \omega, \Omega$)

```
1  $f(s^*) \leftarrow \infty$ 
2  $poolStoch \leftarrow \emptyset$ 
3 for  $\eta$  restarts do
4   Construct a biased randomized PLSVSP solution  $s_0$ , using the
     WMCT-WAVGA heuristic
5    $s \leftarrow RVND(s_0)$ 
6    $Simulation(s, \omega)$ 
7    $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
8   for  $\psi$  iterations do
9      $s' \leftarrow shaking(s)$ 
10     $s^{!*} \leftarrow RNVD(s')$ 
11    if  $f(s^{!*}) < f(s)$  then
12       $s \leftarrow s^{!*}$ 
13       $Simulation(s, \omega)$ 
14       $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
15      if  $f(s^{!*}) < f_{best}$  then
16         $s^* \leftarrow s^{!*}$ 
17      end
18    else if  $accept(s^{!*}, s)$  then
19       $s \leftarrow s^{!*}$ 
20    end
21  end
22 end
23 for  $s \in (poolStoch \cup \{s^*\})$  do
24    $Simulation(s, \Omega)$ 
25 end
26 return  $s^*, poolStoch$ 
```



Simheurística ILS

Algorithm 8: Multi-Start SimILS ($\eta, \rho, \psi, \omega, \Omega$)

```
1  $f(s^*) \leftarrow \infty$ 
2  $poolStoch \leftarrow \emptyset$ 
3 for  $\eta$  restarts do
4   Construct a biased randomized PLSVSP solution  $s_0$ , using the
   WMCT-WAVGA heuristic
5    $s \leftarrow RVND(s_0)$ 
6    $Simulation(s, \omega)$ 
7    $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
8   for  $\psi$  iterations do
9      $s' \leftarrow shaking(s)$ 
10     $s^{!*} \leftarrow RNVD(s')$ 
11    if  $f(s^{!*}) < f(s)$  then
12       $s \leftarrow s^{!*}$ 
13       $Simulation(s, \omega)$ 
14       $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
15      if  $f(s^{!*}) < f_{best}$  then
16         $s^* \leftarrow s^{!*}$ 
17      end
18    else if  $accept(s^{!*}, s)$  then
19       $s \leftarrow s^{!*}$ 
20    end
21  end
22 end
23 for  $s \in (poolStoch \cup \{s^*\})$  do
24    $Simulation(s, \Omega)$ 
25 end
26 return  $s^*, poolStoch$ 
```

Simulação curta

Simulação longa



Simheurística ILS

Algorithm 8: Multi-Start SimILS ($\eta, \rho, \psi, \omega, \Omega$)

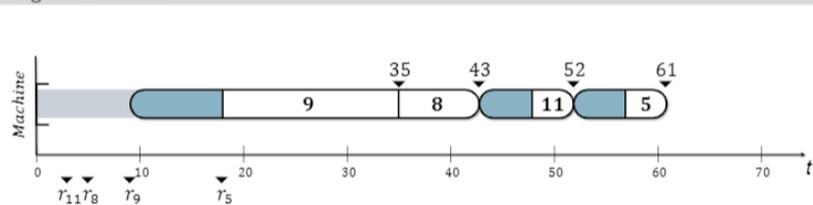
```

1  $f(s^*) \leftarrow \infty$ 
2  $poolStoch \leftarrow \emptyset$ 
3 for  $\eta$  restarts do
4   Construct a biased randomized PLSVSP solution  $s_0$ , using the
     WMCT-WAVGA heuristic
5    $s \leftarrow RVND(s_0)$ 
6    $Simulation(s, \omega)$ 
7    $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
8   for  $\psi$  iterations do
9      $s' \leftarrow shaking(s)$ 
10     $s'^* \leftarrow RNVD(s')$ 
11    if  $f(s'^*) < f(s)$  then
12       $s \leftarrow s'^*$ 
13       $Simulation(s, \omega)$ 
14       $UpdatePool(poolStoch, s, \rho)$ 
15      if  $f(s'^*) < f_{best}$  then
16         $s^* \leftarrow s'^*$ 
17      end
18    else if  $accept(s'^*, s)$  then
19       $s \leftarrow s'^*$ 
20    end
21  end
22 end
23 for  $s \in (poolStoch \cup \{s^*\})$  do
24    $Simulation(s, \Omega)$ 
25 end
26 return  $s^*, poolStoch$ 

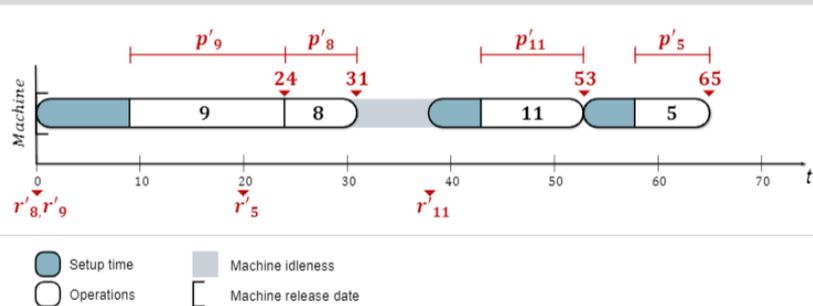
```

Exemplo de uma replicação na simulação

Original Schedule

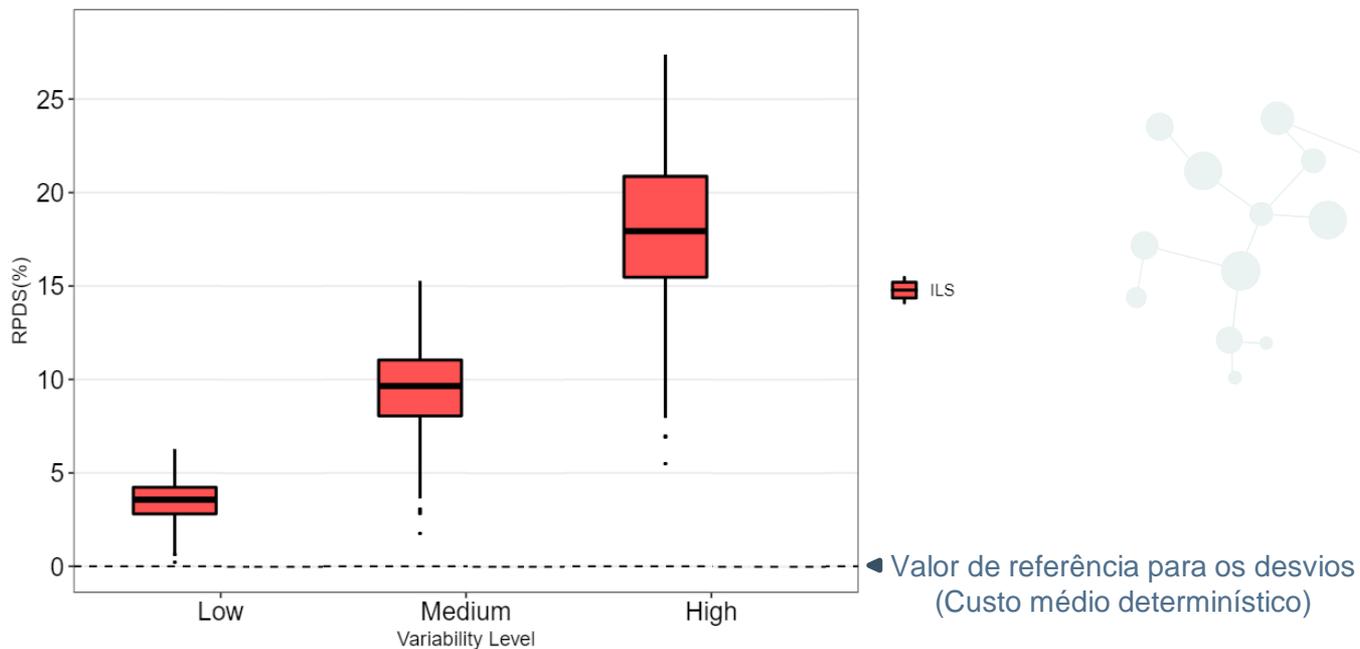


Simulated Schedule



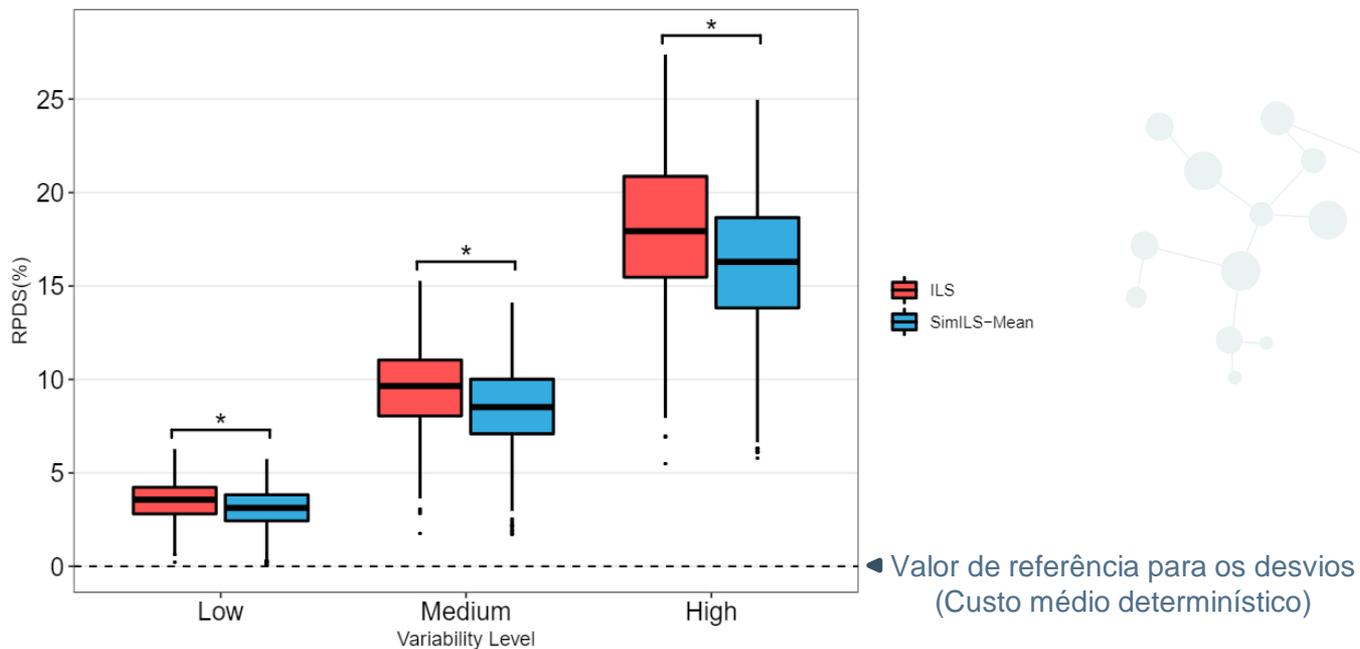
Simheurística ILS

- Primeiro realizamos um experimento com 3 níveis de incerteza: Baixa ($\delta = 0,5$), Média ($\delta = 2,0$) e Alta ($\delta = 5,0$).



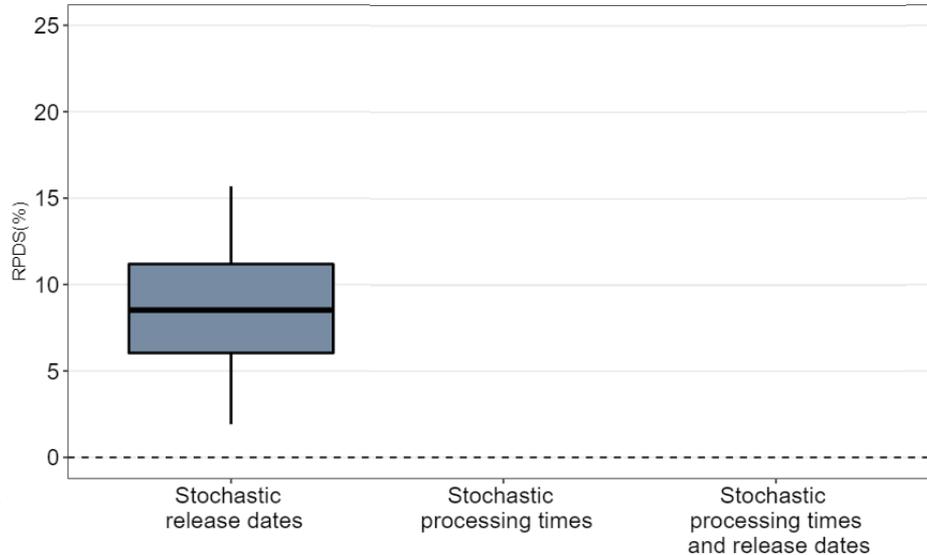
Simheurística ILS

- Primeiro realizamos um experimento com 3 níveis de incerteza: Baixa ($\delta = 0,5$), Média ($\delta = 2,0$) e Alta ($\delta = 5,0$).



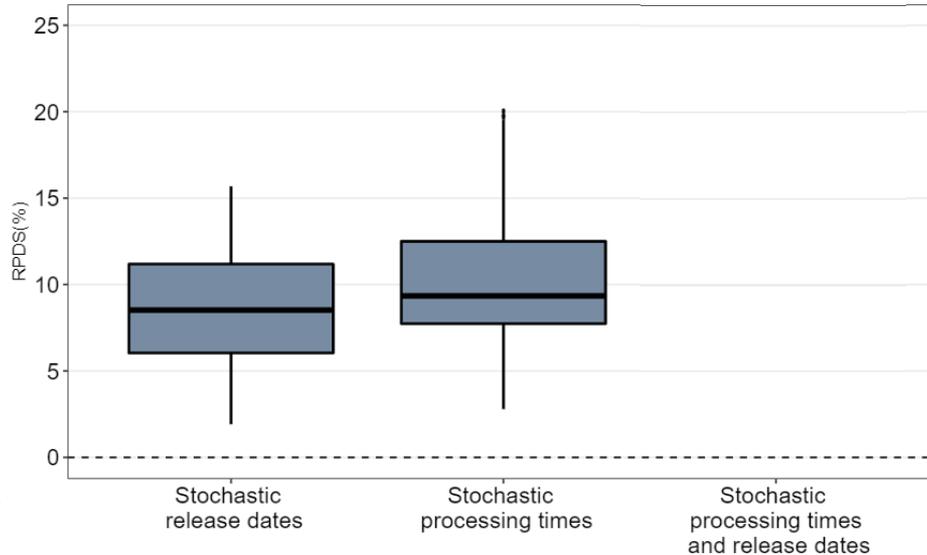
Simheurística ILS

- O segundo experimento teve como intuito entender o impacto das incertezas na resolução do problema. Dessa forma, rodamos o método em todas as instâncias com 3 cenários: Incerteza alta apenas nas datas de liberação, incerteza alta apenas nos tempos de processamento e por fim incerteza em ambos.



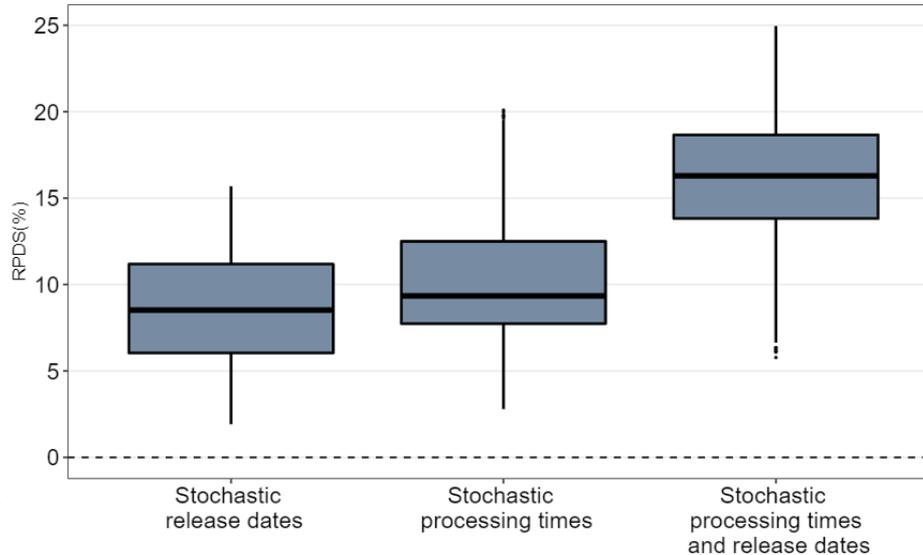
Simheurística ILS

- O segundo experimento teve como intuito entender o impacto das incertezas na resolução do problema. Dessa forma, rodamos o método em todas as instâncias com 3 cenários: Incerteza alta apenas nas datas de liberação, incerteza alta apenas nos tempos de processamento e por fim incerteza em ambos.

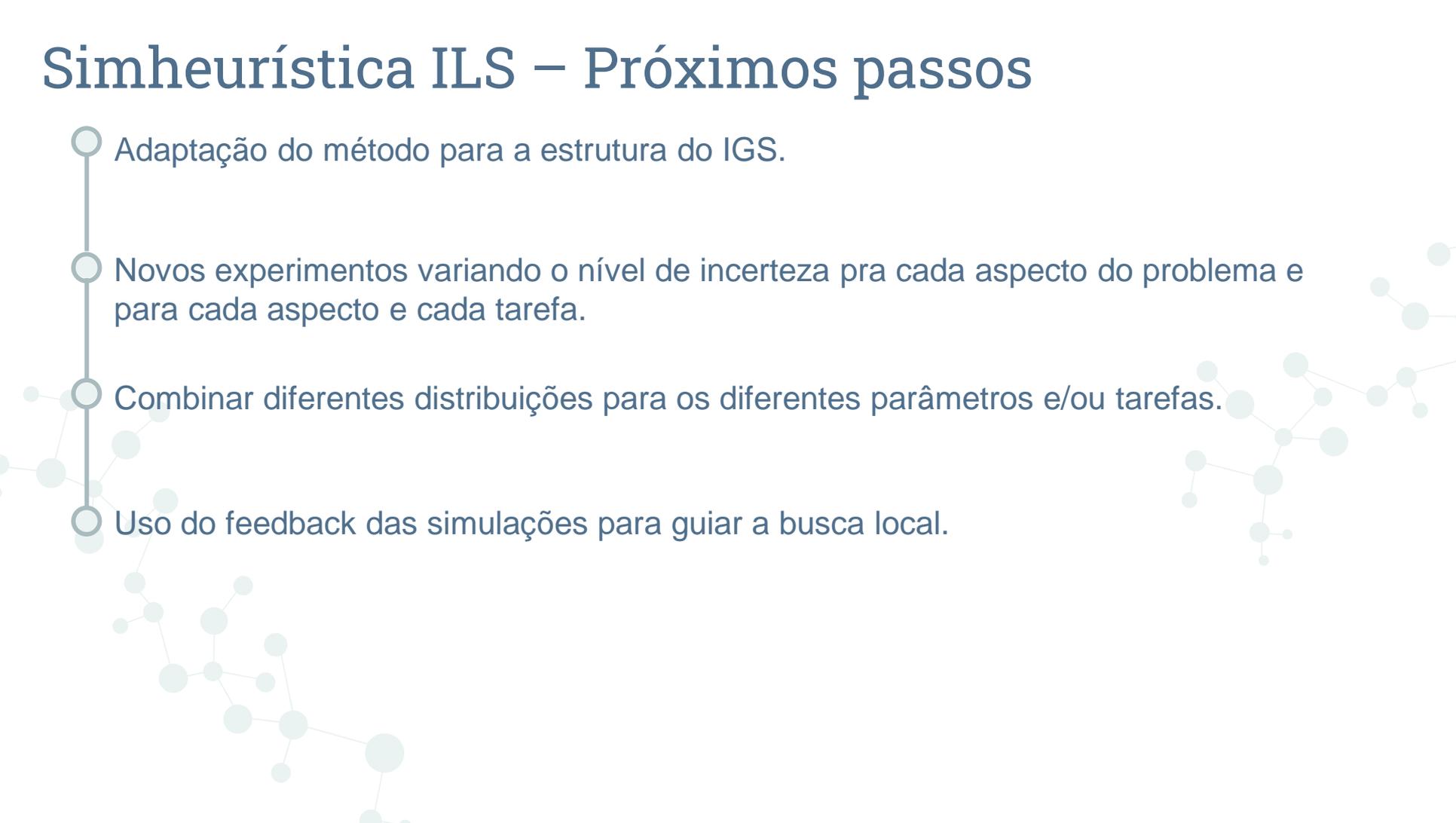


Simheurística ILS

- O segundo experimento teve como intuito entender o impacto das incertezas na resolução do problema. Dessa forma, rodamos o método em todas as instâncias com 3 cenários: Incerteza alta apenas nas datas de liberação, incerteza alta apenas nos tempos de processamento e por fim incerteza em ambos.



Simheurística ILS – Próximos passos

- Adaptação do método para a estrutura do IGS.
 - Novos experimentos variando o nível de incerteza pra cada aspecto do problema e para cada aspecto e cada tarefa.
 - Combinar diferentes distribuições para os diferentes parâmetros e/ou tarefas.
 - Uso do feedback das simulações para guiar a busca local.
- 

Obrigado!

