

# Problema de Programação de Horários de Cursos Universitários da ITC 2019: Modelos e Algoritmos

Paulo Sérvulo dos Santos  
LASOS - PPGEPI - ICEA

Orientador: Prof. Dr. George H. G. da Fonseca  
Coorientador: Prof. Dr. Paganini B. de Oliveira



# Seção 1

## Introdução



# Introdução

## Geração de quadro de horários de cursos universitários

- ▶ Manual vs. Automatizado
- ▶ Utilização de técnicas computacionais (CHEN et al., 2021)
  - ▶ Heurísticas
  - ▶ Metaheurísticas
  - ▶ Programação Matemática
- ▶ A criação de um sistema generalizado é uma tarefa complexa devido às particularidades de cada instituição
- ▶ NP-Completo



# Introdução

## Competição Internacional de Horários 2019 (ITC 2019)

20 equipes

1<sup>o</sup> Holm et al. (2020a)

- ▶ Pré-Processamento
- ▶ Fixa-e-Otimiza

2<sup>o</sup> Rappos et al. (2020)

- ▶ Modelo PLIM
- ▶ Busca local utilizando o modelo

3<sup>o</sup> Gashi e Sylejmani (2020)

- ▶ *Simulated Annealling* com penalização

- ▶ Página da competição: [itc2019.org](http://itc2019.org)



# Introdução

## Objetivos

- ▶ Desenvolver técnicas de pré-processamento e heurísticas para o Problema de Agendamento de Horários de Cursos Universitários da ITC 2019



# Introdução

## Objetivos

- ▶ Desenvolver técnicas de pré-processamento e heurísticas para o Problema de Agendamento de Horários de Cursos Universitários da ITC 2019
- ▶ Objetivos específicos
  - ▶ Reproduzir o modelo apresentado por Holm et al. (2020b)
  - ▶ Propor estratégias para redução do tamanho das instâncias
  - ▶ Criar técnicas de geração de solução inicial
  - ▶ Desenvolver uma heurística de Fixa-e-Otimiza
  - ▶ Comparar os resultados



## Seção 2

Descrição do Problema



# Conjuntos e Relações

O problema é composto por um conjunto de cursos

Cursos





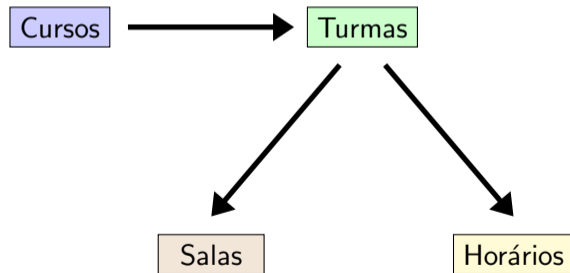
## Conjuntos e Relações

Cada curso possui uma estrutura hierárquica que define como cada aluno irá frequentar as turmas



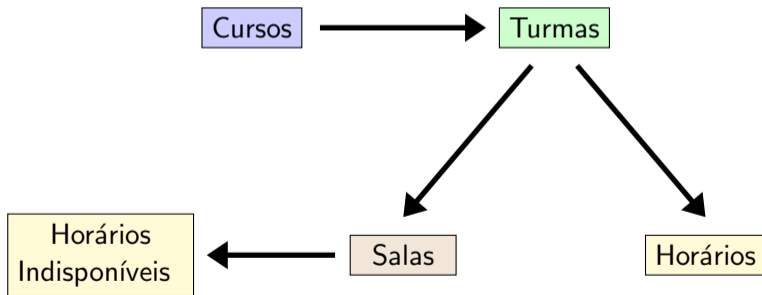
# Conjuntos e Relações

Cada turma possui um conjunto de salas e horários em que a turma pode ser alocada



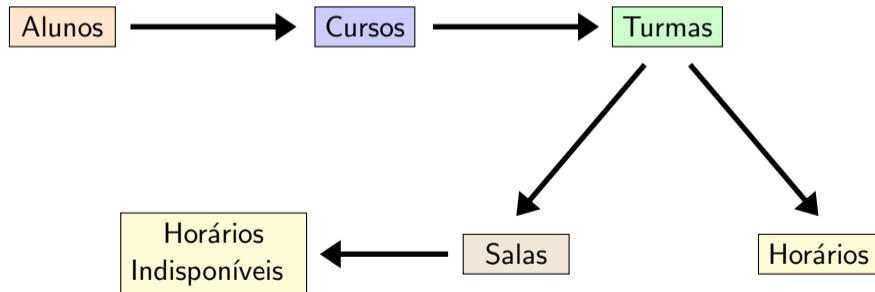
# Conjuntos e Relações

Cada sala possui um conjunto de horários em que está indisponível



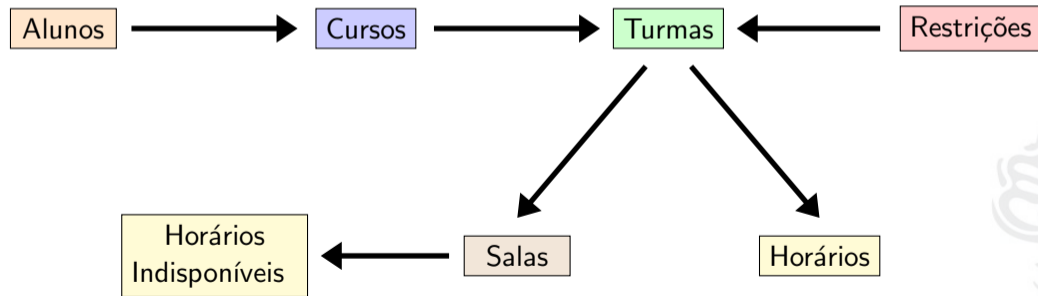
# Conjuntos e Relações

Cada aluno solicita matrícula em alguns cursos



## Conjuntos e Relações

O problema possui um conjunto de restrições, onde cada restrição abrange um conjunto de turmas específicas



# Objetivo

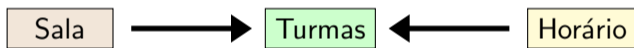
Turmas



# Objetivo

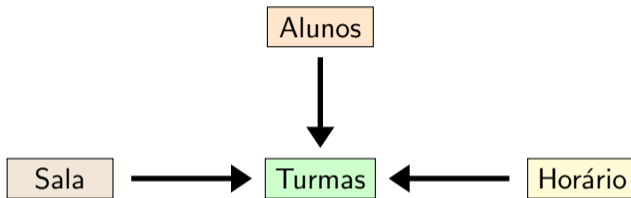


# Objetivo

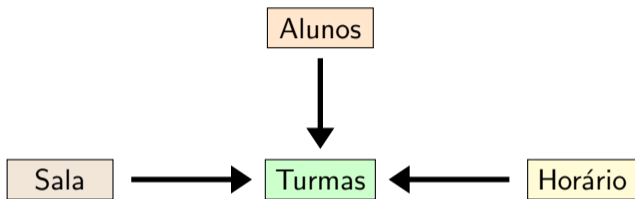




# Objetivo



# Objetivo



Min.:

$$\begin{array}{c} \text{Custo dos} \\ \text{Horários} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Custo} \\ \text{das Salas} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Penalidade de} \\ \text{Conflitos de} \\ \text{Estudantes} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Penalidade das} \\ \text{Restrições de} \\ \text{Distribuição} \end{array}$$

## Restrições Básicas

- ▶ Duas turmas não podem acontecer em uma mesma sala ao mesmo tempo
- ▶ Uma sala não pode ser alocada em um horário que ela esteja indisponível
- ▶ A capacidade das turmas deve ser respeitada
- ▶ Os conflitos de estudantes podem ocorrer, mas são penalizados
- ▶ Um aluno deve ser matriculado em todos os cursos solicitados



## Restrições de Distribuição

- ▶ Cada instância possui um conjunto de Restrições de Distribuição
  - ▶ Cada restrição possui um conjunto de classes
  - ▶ Cada restrição pode ser forte ou fraca
- 
- ▶ *SameStart*
  - ▶ *SameTime*
  - ▶ *DifferentTime*
  - ▶ *SameDays*
  - ▶ *DifferentDays*
  - ▶ *SameWeeks*
  - ▶ *DifferentWeeks*
  - ▶ *Overlap*
  - ▶ *NotOverlap*
- ▶ *SameRoom*
  - ▶ *DifferentRoom*
  - ▶ *SameAttendees*
  - ▶ *WorkDay(S)*
  - ▶ *MinGap(G)*
  - ▶ *MaxDays(D)*
  - ▶ *MaxDayLoad(S)*
  - ▶ *MaxBreaks(R,S)*
  - ▶ *MaxBlock(M,S)*



## Seção 3

### Modelo Matemático



# Modelo Matemático

- ▶ Minimizar a soma dos custos de
  - ▶ Tempos
  - ▶ Salas
  - ▶ Restrições de distribuição fracas
  - ▶ Conflito de alunos
- ▶ Cada um desses custos possui um peso
- ▶ Atender todas as restrições fortes, incluindo as de distribuição
- ▶ Reprodução do modelo de Holm et al. (2020b)



# Modelo Matemático

- ▶ Variáveis de decisão

$$x_{c,t,r} = \begin{cases} 1 & \text{se a turma } c \in \mathcal{C} \text{ é atribuída ao tempo } t \in \mathcal{T}_c \text{ e sala} \\ & r \in \mathcal{R}_c \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$e_{s,c} = \begin{cases} 1 & \text{se o estudante } s \in \mathcal{S} \text{ participa da turma } c \in \mathcal{C}_s \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$



# Modelo Matemático

- ▶ Função Objetivo

Min.:





# Modelo Matemático

► Função Objetivo

$$\text{Min.: } \psi_t \sum_{\substack{c \in \mathcal{C}, \\ t \in \mathcal{T}_c}} p_{c,t} y_{c,t}$$



# Modelo Matemático

► Função Objetivo

$$\text{Min.: } \psi_t \sum_{\substack{c \in \mathcal{C}, \\ t \in \mathcal{T}_c}} p_{c,t} y_{c,t} + \psi_r \sum_{\substack{c \in \mathcal{C}, \\ r \in \mathcal{R}_c}} p_{c,r} w_{c,r}$$



# Modelo Matemático

► Função Objetivo

$$\text{Min.: } \psi_t \sum_{\substack{c \in \mathcal{C}, \\ t \in \mathcal{T}_c}} p_{c,t} y_{c,t} + \psi_r \sum_{\substack{c \in \mathcal{C}, \\ r \in \mathcal{R}_c}} p_{c,r} w_{c,r} +$$

$$\psi_\delta \sum_{p \in \mathcal{P}} c_p p$$



# Modelo Matemático

## ► Função Objetivo

$$\text{Min.: } \psi_t \sum_{\substack{c \in \mathcal{C}, \\ t \in \mathcal{T}_c}} p_{c,t} y_{c,t} \quad + \quad \psi_r \sum_{\substack{c \in \mathcal{C}, \\ r \in \mathcal{R}_c}} p_{c,r} w_{c,r} \quad +$$

$$\psi_\delta \sum_{p \in \mathcal{P}} c_p p$$

+

$$\psi_s \sum_{\substack{s \in \mathcal{S}, \\ (c_i, c_j) \in \mathcal{C}}} \chi_{s, c_i, c_j}$$



## Seção 4

### Metodologia



# Metodologia



# Pré-Processamento

- ▶ Instâncias grandes
- ▶ Modelos grandes (consomem muita memória)
- ▶ Objetivo
  - ▶ Reduzir o tamanho das instâncias sem perder as características
- ▶ 6 técnicas aplicadas



# Pré-Processamento

## 6 técnicas aplicadas

- ▶ Indisponibilidade de Salas
- ▶ Restrições de Distribuição
- ▶ Restrições Redundantes
- ▶ Pares de Turmas Redundantes
- ▶ Restrições sem Conflito
- ▶ Etapa dos Estudantes

### Turma 1

- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| - <b>Seg-Tarde</b> | - Sala 1        |
| - Seg-Noite        | - Sala 4        |
| - Qua-Tarde        | - <b>Sala 8</b> |
| - Qui-Noite        | - Sala 9        |
| - Sex-Noite        | - Sala 10       |





# Pré-Processamento

## 6 técnicas aplicadas

- ▶ Indisponibilidade de Salas
- ▶ Restrições de Distribuição
- ▶ Restrições Redundantes
- ▶ Pares de Turmas Redundantes
- ▶ Restrições sem Conflito
- ▶ Etapa dos Estudantes

### Restrição 1 *SameStart*

- Turma 1
- Turma 2
- Turma 5
- Turma 6
- Turma 7

### Restrição 2 *SameStart*

- Turma 1
- Turma 5
- Turma 7



# Pré-Processamento

## 6 técnicas aplicadas

- ▶ Indisponibilidade de Salas
- ▶ Restrições de Distribuição
- ▶ Restrições Redundantes
- ▶ Pares de Turmas Redundantes
- ▶ Restrições sem Conflito
- ▶ Etapa dos Estudantes

### Restrição 1 *SameStart*

- Turma 1
- Turma 2
- Turma 5
- Turma 6
- Turma 7

### ~~Restrição 2 *SameStart*~~

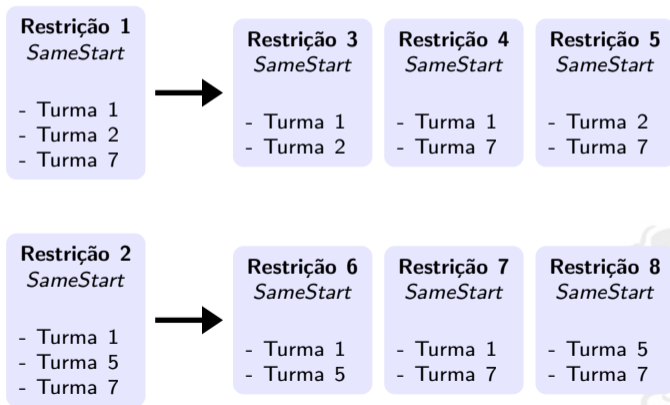
- ~~- Turma 1~~
- ~~- Turma 5~~
- ~~- Turma 7~~



# Pré-Processamento

## 6 técnicas aplicadas

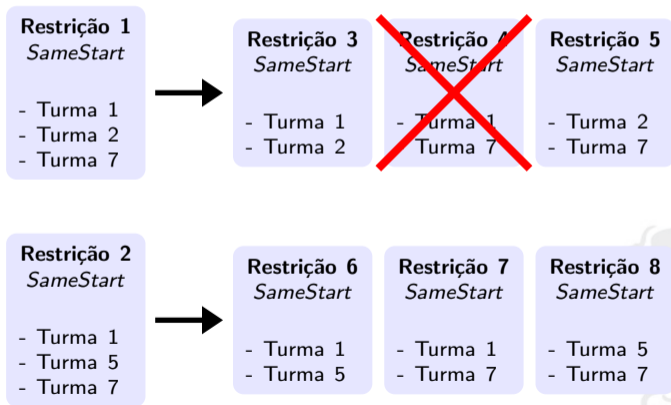
- ▶ Indisponibilidade de Salas
- ▶ Restrições de Distribuição
- ▶ Restrições Redundantes
- ▶ Pares de Turmas Redundantes
- ▶ Restrições sem Conflito
- ▶ Etapa dos Estudantes



# Pré-Processamento

## 6 técnicas aplicadas

- ▶ Indisponibilidade de Salas
- ▶ Restrições de Distribuição
- ▶ Restrições Redundantes
- ▶ Pares de Turmas Redundantes
- ▶ Restrições sem Conflito
- ▶ Etapa dos Estudantes



# Pré-Processamento

## 6 técnicas aplicadas

- ▶ Indisponibilidade de Salas
- ▶ Restrições de Distribuição
- ▶ Restrições Redundantes
- ▶ Pares de Turmas Redundantes
- ▶ Restrições sem Conflito
- ▶ Etapa dos Estudantes

### Restrição 1 *SameStart*

- Turma 1
- Turma 2
- Turma 6
- Turma 7



# Pré-Processamento

## 6 técnicas aplicadas

- ▶ Indisponibilidade de Salas
- ▶ Restrições de Distribuição
- ▶ Restrições Redundantes
- ▶ Pares de Turmas Redundantes
- ▶ Restrições sem Conflito
- ▶ Etapa dos Estudantes

### **Restrição 1**

*SameStart*

- Turma 1
- Turma 2
- Turma 6
- Turma 7



# Pré-Processamento

## 6 técnicas aplicadas

- ▶ Indisponibilidade de Salas
- ▶ Restrições de Distribuição
- ▶ Restrições Redundantes
- ▶ Pares de Turmas Redundantes
- ▶ Restrições sem Conflito
- ▶ Etapa dos Estudantes

### Turma 1

- Seg-Tarde
- Qua-Tarde
- Sex-Tarde

### Turma 2

- Seg-Noite
- Ter-Noite
- Qui-Noite



# Solução Inicial

---

## Algoritmo 1: Aloca tempo e sala para uma turma

---

**Entrada:** Conjunto de classes  $\mathcal{C}$

**Saída:** conjunto de classes alocadas  $\mathcal{C}_A$

▷ Contador de conflitos de cada par  $(t, r)$  da turma  $c$

1  $X_{c,(t,r)} \leftarrow 0$  para cada turma  $c \in \mathcal{C}$  e par de tempo-sala  $(t, r) \in \mathcal{T}_c \times \mathcal{R}_c$

2  $\mathcal{C}_P \leftarrow \text{TurmasPrealocadas}(\mathcal{C})$

▷ Conjunto de turmas pré-alocadas

3  $\mathcal{C}_A \leftarrow \mathcal{C}_P$

▷ Conjunto de turmas alocadas

4  $\mathcal{C}_U \leftarrow \mathcal{C} - \mathcal{C}_P$

▷ Conjunto de turmas não alocadas

5 enquanto  $\mathcal{C}_U \neq \emptyset$  faça

6      $c \leftarrow \text{SelecionaTurma}(\mathcal{C}_U)$

▷ Seleciona a turma com menos opções de pares sala-tempo

7      $\mathcal{C}_U, \mathcal{C}_A \leftarrow \text{AlocaRecurso}(c, \mathcal{C}_U, \mathcal{C}_A, X)$

8 retorna  $\mathcal{C}_A$

---





# Solução Inicial

---

## Algoritmo 2: Atualiza os conflitos e atribuições de tempo e sala

---

**Entrada:** Turma  $c$ ; Turmas não alocadas  $C_U$ ; Turmas alocadas  $C_A$ ; Contador de conflitos  $X$

**Saída:**  $C_U$ ;  $C_A$ ; e  $X$  atualizados

```

1 para  $(t, r) \in \mathcal{T}_c \times \mathcal{R}_c$  faça
2    $C_C \leftarrow \text{TurmasConflitantes}(c, t, r, C_A)$ 
3   se  $C_C = \emptyset$  então
4      $\text{AssignTimeRoom}(t, r, c)$ 
5      $C_U \leftarrow C_U - \{c\}$ 
6      $C_A \leftarrow C_A \cup \{c\}$ 
7     retorna  $C_U, C_A, X$ 
8    $(t, r) \leftarrow \text{SelecionaTempoSala}(c, X_c)$ 
9    $C_C \leftarrow \text{TurmasConflitantes}(c, t, r, C_A)$ 
10   $\text{AlocaTempoSala}(t, r, c)$ 
11   $C_A \leftarrow C_A \cup \{c\}$ 
12  para  $c \in C_C$  faça
13     $(t, r) \leftarrow \text{DesalocaTempoSala}(c)$ 
14     $C_A \leftarrow C_A - \{c\}$ 
15     $C_U \leftarrow C_U \cup \{c\}$ 
16     $X_{c,(t,r)} \leftarrow X_{c,(t,r)} + 1$ 
17  retorna  $C_U, C_A, X$ 

```

▶ Opções de par tempo-sala para a turma  $c$   
 ▶ Conjunto de turmas conflitantes com  $c$   
 ▶ Não há conflito na alocação de  $(t, r)$  para  $c$   
 ▶ Aloca o par tempo-sala  $(t, r)$  para  $c$

▶ Seleciona o par tempo-sala com menos conflitos

▶ Desaloca a turma conflitante  $c$

▶ Incrementa o contador de conflitos para o par  $(t, r)$  da turma  $c$

---



# Solução Inicial

---

## Algoritmo 3: Aloca os alunos às suas turmas

---

**Entrada:** Conjunto de alunos  $\mathcal{S}$ ; Conjunto de cursos que um aluno deve cursar  $\mathcal{K}_s$

**Saída:**  $\mathcal{S}$  atualizado

```

1 para  $s \in \mathcal{S}$  faça
2   para  $k \in \mathcal{K}_s$  faça
3      $P_c \leftarrow \text{CombinacaoTurmas}(k)$            ▷ Conjunto de possibilidades de turmas do curso  $k$ 
4      $p \leftarrow \text{SelecionaMelhor}(P_c, s)$        ▷ Seleciona a possibilidade que causa menos conflitos  $s$ 
5     para  $c \in p$  faça                             ▷ Para cada turma  $c$  da possibilidade  $p$ 
6       AlocaEstudante( $s, c$ )                       ▷ Aloca o aluno  $s$  à turma  $c$ 
7 retorna  $\mathcal{S}$ 

```

---



# Fixa-e-Otimiza

---

## Algoritmo 4: Executa a heurística Fixa-e-Otimiza proposta

---

**Entrada:** Instância do problema  $\mathbb{P}$ ; Solução inicial  $s$ ; Tempo limite  $t_{max}$ ; Tempo limite de cada iteração  $t_{it}$ ; Tamanho do subproblema  $n$ ; Número de estruturas de vizinhas  $k$

**Saída:** Melhor solução  $s$  encontrada

```

1  $\mathbb{M} \leftarrow$  Carrega o modelo MIP para  $\mathbb{P}$  com  $s$ 
2  $\mathcal{X} \leftarrow$  Carrega os valores das variáveis da solução  $s$ 
3 enquanto tempo decorrido  $\leq t_{max}$  faça
    ▷ Selecione as variáveis a serem fixadas e liberadas
4      $k_{it} \leftarrow$  VizinhancaAleatoria( $k$ )
5      $(\mathcal{C}^{free}, \mathcal{S}^{free}) \leftarrow$  SeleccionaTurmasEAlunos( $\mathbb{M}, k_{it}, n$ )
6      $\mathcal{V} \leftarrow$  Variáveis relacionadas com  $\mathcal{C}^{free}$  e  $\mathcal{S}^{free}$ 
    ▷ Fixa/libera as variáveis e soluciona o modelo
7     Fixa as variáveis  $\mathcal{X} \setminus \mathcal{V}$  com seu valor atual
8      $(s, status) \leftarrow$  Soluciona  $\mathbb{M}$  com tempo limite  $t_{it}$ 
9     Libera as variáveis fixadas em  $\mathbb{M}$ 
    ▷ Ajuste do tamanho do subproblema
10    se  $status = \text{"Ótimo"}$  então
11         $n \leftarrow n * 1.05$ 
12    senão
13         $n \leftarrow n * 0.70$ 
14 retorna  $s$ 

```



# Fixa-e-Otimiza

## Seis estruturas de vizinhança

$V_1$  Seleção aleatória das turmas e alunos



# Fixa-e-Otimiza

## Seis estruturas de vizinhança

- $V_1$  Seleção aleatória das turmas e alunos
- $V_2$  Seleção das turmas a partir de alunos em comum e dos alunos a partir das turmas selecionadas



# Fixa-e-Otimiza

## Seis estruturas de vizinhança

- $V_1$  Seleção aleatória das turmas e alunos
- $V_2$  Seleção das turmas a partir de alunos em comum e dos alunos a partir das turmas selecionadas
- $V_3$  Seleção dos alunos a partir de turmas em comum e das turmas a partir dos alunos selecionados



# Fixa-e-Otimiza

## Seis estruturas de vizinhança

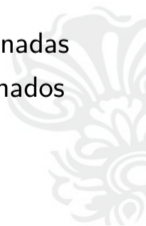
- $V_1$  Seleção aleatória das turmas e alunos
- $V_2$  Seleção das turmas a partir de alunos em comum e dos alunos a partir das turmas selecionadas
- $V_3$  Seleção dos alunos a partir de turmas em comum e das turmas a partir dos alunos selecionados
- $V_4$  Seleção aleatória das turmas e seleção dos alunos a partir das turmas selecionadas



# Fixa-e-Otimiza

## Seis estruturas de vizinhança

- $V_1$  Seleção aleatória das turmas e alunos
- $V_2$  Seleção das turmas a partir de alunos em comum e dos alunos a partir das turmas selecionadas
- $V_3$  Seleção dos alunos a partir de turmas em comum e das turmas a partir dos alunos selecionados
- $V_4$  Seleção aleatória das turmas e seleção dos alunos a partir das turmas selecionadas
- $V_5$  Seleção aleatória dos alunos e seleção das turmas a partir dos alunos selecionados





# Fixa-e-Otimiza

## Seis estruturas de vizinhança

- $V_1$  Seleção aleatória das turmas e alunos
- $V_2$  Seleção das turmas a partir de alunos em comum e dos alunos a partir das turmas selecionadas
- $V_3$  Seleção dos alunos a partir de turmas em comum e das turmas a partir dos alunos selecionados
- $V_4$  Seleção aleatória das turmas e seleção dos alunos a partir das turmas selecionadas
- $V_5$  Seleção aleatória dos alunos e seleção das turmas a partir dos alunos selecionados
- $V_6$  Seleção das turmas a partir das Restrições de Distribuição e dos alunos a partir das turmas selecionadas

## Seção 5

### Resultados



## Configurações dos Experimentos

- ▶ *Desktop* Ubuntu 18.04
- ▶ i7 3770 com 32GB de memória RAM
- ▶ 8 Threads
- ▶ *Python MIP*
- ▶ *Gurobi 9.1*
- ▶ *Pypy 3.9*
- ▶ Instâncias já pré-processadas por Holm et al. (2020b)
- ▶ Tempo limite de 24 horas para cada etapa



# Experimentos Computacionais

Tabela: Status de execução das instâncias *early*

	Instância	PP	SI	CM	FO
Early	<i>agh-fis-spr17</i>	✓	✓	T.E.	✗
	<i>agh-ggis-spr17</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>bet-fal17</i>	✓	T.E.	✓	✗
	<i>iku-fal17</i>	✓	✓	T.E.	✗
	<i>mary-spr17</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>muni-fi-spr16</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>muni-fsps-spr17</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>muni-pdf-spr16c</i>	T.E.	✓	M.E.	✗
	<i>pu-llr-spr17</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>tg-fal17</i>	✓	✓	✓	✓

PP pré-processamento

SI solução inicial

CM construção do modelo

FO Fixa-e-Otimiza

T.E. tempo esgotado

M.E. memória excedida

✓ executado com sucesso

✗ não executado devido falhas em etapas anteriores



# Experimentos Computacionais

Tabela: Status de execução das instâncias *middle*

	Instância	PP	SI	CM	FO
Middle	<i>agh-ggos-spr17</i>	✓	✓	✓	M.E.
	<i>agh-h-spr17</i>	✓	✓	T.E.	✗
	<i>lums-spr18</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>muni-fi-spr17</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>muni-fsps-spr17c</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>muni-pdf-spr16</i>	T.E.	✓	M.E.	✗
	<i>nbi-spr18</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>pu-d5-spr17</i>	✓	✓	T.E.	✗
	<i>pu-proj-fal19</i>	T.E.	✓	M.E.	✗
	<i>yach-fal17</i>	✓	✓	✓	✓

PP pré-processamento  
 SI solução inicial  
 CM construção do modelo  
 FO Fixa-e-Otimiza  
 T.E. tempo esgotado

M.E. memória excedida  
 ✓ executado com sucesso  
 ✗ não executado devido falhas em etapas anteriores



# Experimentos Computacionais

Tabela: Status de execução das instâncias *late*

	Instância	PP	SI	CM	FO
Late	<i>agh-fal17</i>	T.E.	✓	M.E.	✗
	<i>bet-spr18</i>	✓	✓	✓	M.E.
	<i>iku-spr18</i>	✓	✓	T.E.	✗
	<i>lums-fal17</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>mary-fal18</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>muni-fi-fal17</i>	✓	✓	✓	✓
	<i>muni-fspsx-fal17</i>	✓	T.E.	✓	✗
	<i>muni-pdfx-fal17</i>	T.E.	T.E.	M.E.	✗
	<i>pu-d9-fal19</i>	T.E.	✓	M.E.	✗
	<i>tg-spr18</i>	✓	✓	✓	✓

PP pré-processamento  
 SI solução inicial  
 CM construção do modelo  
 FO Fixa-e-Otimiza  
 T.E. tempo esgotado

M.E. memória excedida  
 ✓ executado com sucesso  
 ✗ não executado devido falhas  
 em etapas anteriores



# Experimentos Computacionais

## Número de pares de classes nas Restrições de Distribuição

- ▶ Fortes
  - ▶ Média<sup>1</sup> de 34,42% de redução comparando com Holm et al. (2020b)
  - ▶ Média<sup>1</sup> de 58,30% de redução comparando com as instâncias originais
- ▶ Fracas
  - ▶ Média<sup>1</sup> de 13,50% de redução comparando com Holm et al. (2020b)
  - ▶ Média<sup>1</sup> de 44,09% de redução comparando com as instâncias originais

---

<sup>1</sup>Média Geométrica Deslocada com deslocamento igual a 100.000



# Experimentos Computacionais

## Média de tempos e salas por turma

- ▶ Tempo
  - ▶ Média<sup>2</sup> de 0,63% de redução comparando com Holm et al. (2020b)
  - ▶ Média<sup>2</sup> de 13,09% de redução comparando com as instâncias originais
- ▶ Salas
  - ▶ Sem alterações comparando com Holm et al. (2020b)
  - ▶ Média<sup>2</sup> de 12,31% de redução comparando com as instâncias originais

---

<sup>2</sup>Média Geométrica Deslocada com deslocamento igual a 10





# Experimentos Computacionais

Tabela: Número de variáveis do modelo de PLIM

Instâncias	Antes do Presolve			Após o Presolve		
	Holm	AP	Dif(%)	Holm	AP	Dif(%)
<i>agh-ggis-spr17</i>	10.532.658	2.883.679	<b>72,62</b>	1.961.118	1.878.653	<b>4,20</b>
<i>mary-spr17</i>	1.287.460	648.320	<b>49,64</b>	525.927	481.897	<b>8,37</b>
<i>muni-fi-spr16</i>	4.350.531	4.447.153	-2,22	2.705.734	2.695.684	<b>0,37</b>
<i>muni-fsps-spr17</i>	717.147	496.449	<b>30,77</b>	367.581	363.626	<b>1,08</b>
<i>pu-llr-spr17</i>	5.542.707	2.861.485	<b>48,37</b>	1.890.047	1.795.031	<b>5,03</b>
<i>tg-fal17</i>	232.749	73.380	<b>68,47</b>	126.314	58.386	<b>53,78</b>
<i>lums-spr18</i>	458.344	595.902	-30,01	435.420	400.985	<b>7,91</b>
<i>muni-fi-spr17</i>	5.711.500	6.986.041	-22,32	3.878.005	3.858.259	<b>0,51</b>
<i>muni-fsps-spr17c</i>	1.466.645	1.285.365	<b>12,36</b>	862.299	833.634	<b>3,32</b>
<i>nbi-spr18</i>	631.823	590.344	<b>6,56</b>	200.008	196.984	<b>1,51</b>
<i>yach-fal17</i>	1.336.902	1.145.585	<b>14,31</b>	1.010.854	962.742	<b>4,76</b>
<i>lums-fal17</i>	448.222	631.032	-40,79	432.121	399.702	<b>7,50</b>
<i>mary-fal18</i>	3.307.703	2.727.488	<b>17,54</b>	2.013.267	1.997.739	<b>0,77</b>
<i>muni-fi-fal17</i>	7.384.314	8.517.121	-15,34	4.950.779	4.927.103	<b>0,48</b>
<i>tg-spr18</i>	130.533	64.736	<b>50,41</b>	71.679	48.332	<b>32,57</b>
<b>Média<sup>3</sup></b>	1.544.239,41	1.203.987,94	<b>22,03</b>	855.814,57	799.619,98	<b>6,57</b>

<sup>3</sup>Média Geométrica Deslocada com deslocamento igual a 100.000

# Experimentos Computacionais

Tabela: Número de restrições do modelo de PLIM

Instância	Antes do Presolve			Após o Presolve		
	Holm	AP	Dif(%)	Holm	AP	Dif(%)
<i>agh-ggis-spr17</i>	10.971.106	5.423.267	<b>50,57</b>	1.966.325	3.163.392	-60,88
<i>mary-spr17</i>	1.716.685	1.347.270	<b>21,52</b>	774.553	940.000	-21,36
<i>muni-fi-spr16</i>	4.958.093	8.213.405	-65,66	3.114.910	5.353.770	-71,88
<i>muni-fsps-spr17</i>	1.003.857	1.124.988	-12,07	532.588	712.561	-33,79
<i>pu-llr-spr17</i>	8.980.995	6.962.711	<b>22,47</b>	4.691.996	4.123.078	<b>12,13</b>
<i>tg-fal17</i>	597.723	326.845	<b>45,32</b>	120.314	81.714	<b>32,08</b>
<i>lums-spr18</i>	589.187	516.513	<b>12,33</b>	487.767	350.369	<b>28,17</b>
<i>muni-fi-spr17</i>	6.475.267	12.018.341	-85,60	4.424.788	7.696.457	-73,94
<i>muni-fsps-spr17c</i>	17.717.840	8.915.121	<b>49,68</b>	13.143.821	6.493.444	<b>50,60</b>
<i>nbi-spr18</i>	1.955.308	1.771.697	<b>9,39</b>	1.220.781	791.460	<b>35,17</b>
<i>yach-fal17</i>	4.407.666	3.608.185	<b>18,14</b>	3.321.465	2.999.812	<b>9,68</b>
<i>lums-fal17</i>	525.567	570.538	-8,56	416.315	353.722	<b>15,04</b>
<i>mary-fal18</i>	3.754.624	5.538.220	-47,50	2.316.193	3.883.300	-67,66
<i>muni-fi-fal17</i>	8.032.513	14.850.998	-84,89	5.407.354	9.731.501	-79,97
<i>tg-spr18</i>	645.009	279.478	<b>56,67</b>	71.313	69.766	<b>2,17</b>
<b>Média<sup>4</sup></b>	2.779.945,06	2.567.298,42	<b>7,65</b>	1.451.546,61	1.571.806,87	-8,28

<sup>4</sup>Média Geométrica Deslocada com deslocamento igual a 100.000

# Experimentos Computacionais

**Tabela:** Tempo e objetivo das soluções iniciais das instâncias *early*

	<b>Instância</b>	<b>Tempo</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Early</b>	<i>agh-fis-spr17</i>	81,86	33.715
	<i>agh-ggis-spr17</i>	353,00	178.615
	<i>bet-fal17</i>	T.E.	T.E.
	<i>iku-fal17</i>	1.457,34	70.722
	<i>mary-spr17</i>	11,05	56.294
	<i>muni-fi-spr16</i>	3,19	17.243
	<i>muni-fsps-spr17</i>	2,63	275.822
	<i>muni-pdf-spr16c</i>	239,62	46.136
	<i>pu-llr-spr17</i>	4,18	78.227
	<i>tg-fal17</i>	45,73	14.456

**Tempo** em segundos  
T.E. tempo esgotado



# Experimentos Computacionais

Tabela: Tempo e objetivo das soluções iniciais das instâncias *middle*

	Instância	Tempo	Objetivo
Middle	<i>agh-ggos-spr17</i>	227,81	66.024
	<i>agh-h-spr17</i>	191,70	49.639
	<i>lums-spr18</i>	8,00	540
	<i>muni-fi-spr17</i>	3,36	19.210
	<i>muni-fsps-spr17c</i>	18,75	721.474
	<i>muni-pdf-spr16</i>	19,82	230.219
	<i>nbi-spr18</i>	3,74	61.260
	<i>pu-d5-spr17</i>	10,69	45.359
	<i>pu-proj-fal19</i>	4.649,49	4.649
	<i>yach-fal17</i>	34,18	25.787

Tempo em segundos  
T.E. tempo esgotado



# Experimentos Computacionais

**Tabela:** Tempo e objetivo das soluções iniciais das instâncias *late*

	<b>Instância</b>	<b>Tempo</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Late</b>	<i>agh-fal17</i>	2.277,92	483.139
	<i>bet-spr18</i>	1.594,23	447.951
	<i>iku-spr18</i>	4.036,95	94.944
	<i>lums-fal17</i>	15,43	1.383
	<i>mary-fal18</i>	3,80	43.879
	<i>muni-fi-fal17</i>	3,52	23.540
	<i>muni-fspsx-fal17</i>	T.E.	T.E.
	<i>muni-pdfx-fal17</i>	T.E.	T.E.
	<i>pu-d9-fal19</i>	461,19	432.701
	<i>tg-spr18</i>	6,42	71.024

**Tempo** em segundos

T.E. tempo esgotado



# Experimentos Computacionais

Tabela: Resultados do Fixa-e-Otimiza

Instância	Holm	Rappos	Gashi	1h	24h
<i>agh-ggis-spr17</i>	34.285	36.616	77.932	88.028	41.270
<i>mary-spr17</i>	14.910	15.021	15.894	21.472	15.158
<i>muni-fi-spr16</i>	3.756	3.844	5.006	5.675	4.325
<i>muni-fsps-spr17</i>	868	883	1.938	1.007	881
<i>pu-llr-spr17</i>	10.038	13.385	16.874	59.433	15.932
<i>tg-fal17</i>	4.215	4.215	8.044	4.215	4.215
<i>lums-spr18</i>	95	114	107	205	110
<i>muni-fi-spr17</i>	3.825	4.289	4.692	6.503	4.479
<i>muni-fsps-spr17c</i>	2.596	3.303	9.222	122.906	5.084
<i>nbi-spr18</i>	18.014	19.055	26.517	19.440	18.059
<i>yach-fal17</i>	1.239	1.844	1.727	5.440	1.941
<i>lums-fal17</i>	349	386	486	511	433
<i>mary-fal18</i>	4.422	5.637	7.199	14.025	5.720
<i>muni-fi-fal17</i>	2.999	3.794	4.712	7.998	4.017
<i>tg-spr18</i>	12.704	12.856	15.992	20.264	13.424

**Holm** resultados de Holm et al. (2020a) (1<sup>o</sup> colocado)

**Rappos** resultados de Rappos et al. (2020) (2<sup>o</sup> colocado)

**Gashi** resultados de Gashi e Sylejmani (2020) (3<sup>o</sup> colocado)



# Experimentos Computacionais

Tabela: Resultados do Fixa-e-Otimiza

Instância	Holm	Rappos	Gashi	1h	24h
<i>agh-ggis-spr17</i>	34.285	36.616	<b>77.932</b>	88.028	41.270
<i>mary-spr17</i>	14.910	15.021	<b>15.894</b>	21.472	15.158
<i>muni-fi-spr16</i>	3.756	3.844	<b>5.006</b>	5.675	4.325
<i>muni-fsps-spr17</i>	868	883	1.938	<b>1.007</b>	881
<i>pu-llr-spr17</i>	10.038	13.385	<b>16.874</b>	59.433	15.932
<i>tg-fal17</i>	4.215	4.215	8.044	<b>4.215</b>	4.215
<i>lums-spr18</i>	95	114	107	205	110
<i>muni-fi-spr17</i>	3.825	4.289	<b>4.692</b>	6.503	4.479
<i>muni-fsps-spr17c</i>	2.596	3.303	<b>9.222</b>	122.906	5.084
<i>nbi-spr18</i>	18.014	19.055	26.517	<b>19.440</b>	18.059
<i>yach-fal17</i>	1.239	1.844	<b>1.727</b>	5.440	1.941
<i>lums-fal17</i>	349	386	<b>486</b>	511	433
<i>mary-fal18</i>	4.422	5.637	<b>7.199</b>	14.025	5.720
<i>muni-fi-fal17</i>	2.999	3.794	<b>4.712</b>	7.998	4.017
<i>tg-spr18</i>	12.704	12.856	<b>15.992</b>	20.264	13.424

**Holm** resultados de Holm et al. (2020a) (1<sup>o</sup> colocado)

**Rappos** resultados de Rappos et al. (2020) (2<sup>o</sup> colocado)

**Gashi** resultados de Gashi e Sylejmani (2020) (3<sup>o</sup> colocado)



# Experimentos Computacionais

Tabela: Resultados do Fixa-e-Otimiza

Instância	Holm	Rappos	Gashi	1h	24h
<i>agh-ggis-spr17</i>	34.285	<b>36.616</b>	77.932	88.028	41.270
<i>mary-spr17</i>	14.910	<b>15.021</b>	15.894	21.472	15.158
<i>muni-fi-spr16</i>	3.756	<b>3.844</b>	5.006	5.675	4.325
<i>muni-fsps-spr17</i>	868	883	1.938	1.007	<b>881</b>
<i>pu-llr-spr17</i>	10.038	<b>13.385</b>	16.874	59.433	15.932
<i>tg-fal17</i>	4.215	4.215	8.044	4.215	<b>4.215</b>
<i>lums-spr18</i>	95	114	107	205	<b>110</b>
<i>muni-fi-spr17</i>	3.825	<b>4.289</b>	4.692	6.503	4.479
<i>muni-fsps-spr17c</i>	2.596	<b>3.303</b>	9.222	122.906	5.084
<i>nbi-spr18</i>	18.014	19.055	26.517	19.440	<b>18.059</b>
<i>yach-fal17</i>	1.239	<b>1.844</b>	1.727	5.440	1.941
<i>lums-fal17</i>	349	<b>386</b>	486	511	433
<i>mary-fal18</i>	4.422	<b>5.637</b>	7.199	14.025	5.720
<i>muni-fi-fal17</i>	2.999	<b>3.794</b>	4.712	7.998	4.017
<i>tg-spr18</i>	12.704	<b>12.856</b>	15.992	20.264	13.424

**Holm** resultados de Holm et al. (2020a) (1<sup>o</sup> colocado)

**Rappos** resultados de Rappos et al. (2020) (2<sup>o</sup> colocado)

**Gashi** resultados de Gashi e Sylejmani (2020) (3<sup>o</sup> colocado)





# Experimentos Computacionais

Tabela: Resultados do Fixa-e-Otimiza

Instância	Holm	Rappos	Gashi	1h	24h
<i>agh-ggis-spr17</i>	34.285	36.616	77.932	88.028	<b>41.270</b>
<i>mary-spr17</i>	14.910	15.021	15.894	21.472	<b>15.158</b>
<i>muni-fi-spr16</i>	3.756	3.844	5.006	5.675	<b>4.325</b>
<i>muni-fsps-spr17</i>	868	883	1.938	1.007	<b>881</b>
<i>pu-llr-spr17</i>	10.038	13.385	16.874	59.433	<b>15.932</b>
<i>tg-fal17</i>	4.215	4.215	8.044	4.215	<b>4.215</b>
<i>lums-spr18</i>	95	114	<b>107</b>	205	110
<i>muni-fi-spr17</i>	3.825	4.289	4.692	6.503	<b>4.479</b>
<i>muni-fsps-spr17c</i>	2.596	3.303	9.222	122.906	<b>5.084</b>
<i>nbi-spr18</i>	18.014	19.055	26.517	19.440	<b>18.059</b>
<i>yach-fal17</i>	1.239	1.844	1.727	5.440	<b>1.941</b>
<i>lums-fal17</i>	349	386	486	511	<b>433</b>
<i>mary-fal18</i>	4.422	5.637	7.199	14.025	<b>5.720</b>
<i>muni-fi-fal17</i>	2.999	3.794	4.712	7.998	<b>4.017</b>
<i>tg-spr18</i>	12.704	12.856	15.992	20.264	<b>13.424</b>

**Holm** resultados de Holm et al. (2020a) (1<sup>o</sup> colocado)

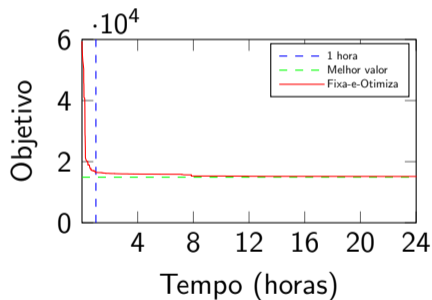
**Rappos** resultados de Rappos et al. (2020) (2<sup>o</sup> colocado)

**Gashi** resultados de Gashi e Sylejmani (2020) (3<sup>o</sup> colocado)

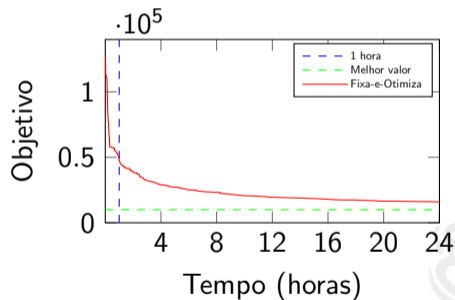


# Experimentos Computacionais

**Figura:** Gráficos de convergência do algoritmo Fixa-e-Otimiza para algumas instâncias da ITC2019



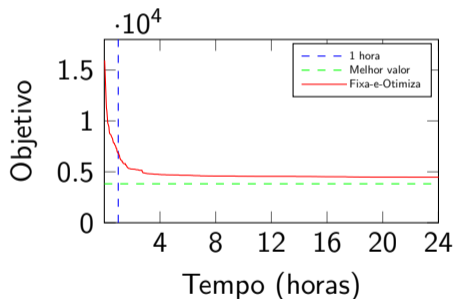
(a) mary-spr17



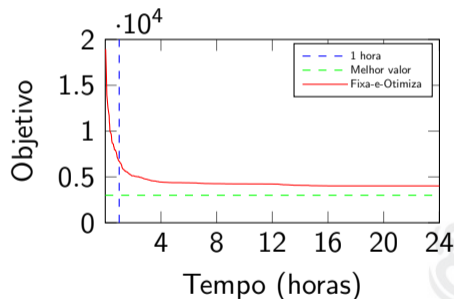
(b) pu-llr-spr17

# Experimentos Computacionais

**Figura:** Gráficos de convergência do algoritmo Fixa-e-Otimiza para algumas instâncias da ITC2019



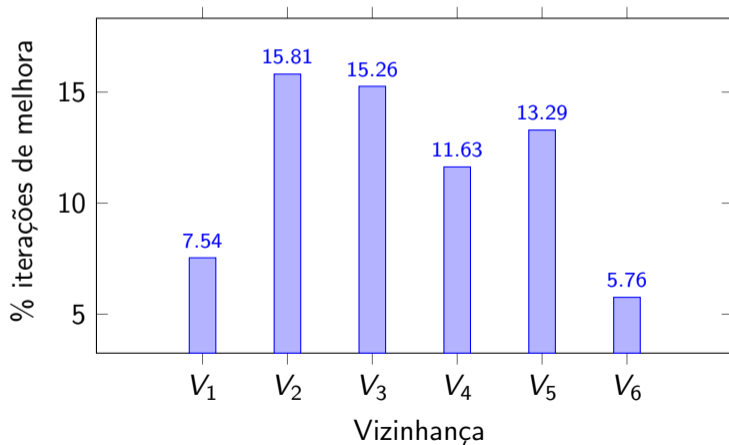
(a) muni-fi-spr17



(b) muni-fi-fal17

# Experimentos Computacionais

Figura: Porcentagem das iterações de melhoria para cada vizinhança



## Seção 6

Conclusão



# Conclusão

- ▶ Problema complexo e desafiador
- ▶ Dificuldade de se criar um modelo simples e eficiente
- ▶ Pré-processamento
- ▶ Geração da solução inicial
- ▶ Heurística de Fixa-e-Otimiza
- ▶ Resultados satisfatórios
- ▶ Trabalhos futuros








## Agradecimentos

- ▶ Universidade Federal de Ouro Preto
- ▶ Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
- ▶ Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior




## Referências I

-  CHEN, M. C. et al. A Survey of University Course Timetabling Problem: Perspectives, Trends and Opportunities. *IEEE Access*, IEEE, v. 9, p. 106515–106529, 2021.
-  GASHI, E.; SYLEJMANI, K. Simulated Annealing with Penalization for University Course Timetabling. 2020.
-  HOLM, D. S. et al. A MIP Based Approach for International Timetabling Competition 2019. 2020.
-  HOLM, D. S. et al. A MIP Formulation of the International Timetabling Competition 2019 Problem. 2020.
-  MÜLLER, T. et al. University Course Timetabling and International Timetabling Competition 2019. *Proceedings of 12th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT)*, p. 27, 2018.



## Referências II

 RAPPOS, E. et al. International Timetabling Competition 2019: A Mixed Integer Programming Approach for Solving University Timetabling Problems. 2020.

