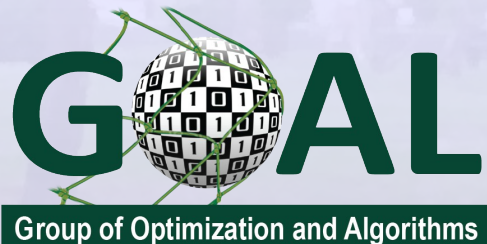




Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Computação



Modelos e Métodos de Resolução para Problemas de Escalonamento de Projetos



Haroldo Gambini Santos
Túlio A. Machado Toffolo
Marco A.M. de Carvalho
Janniele A. Soares

Considerações adicionais em PEPs

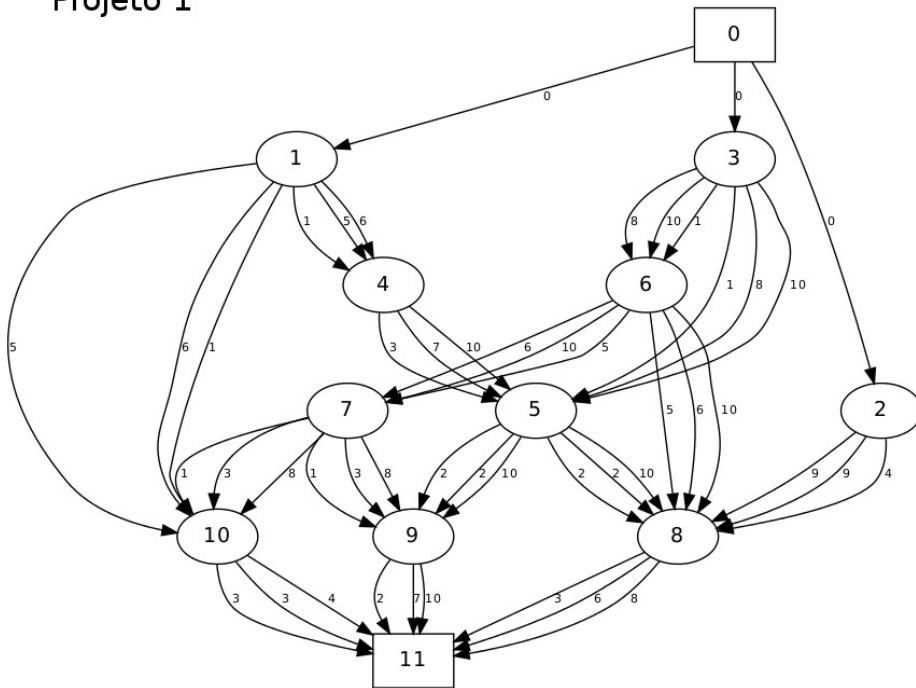
- Recursos:
 - renováveis:
 - disponíveis em cada instante de tempo: ex.: mão de obra, máquinas, espaço físico,... ;
 - não renováveis:
 - limitados quanto ao gasto em todo o projeto: dinheiro, matéria-prima,
 - duplamente restritos: restritos nos dois sentidos acima, modelagem pode ser feita criando dois recursos adicionais.

Considerações adicionais em PEPs

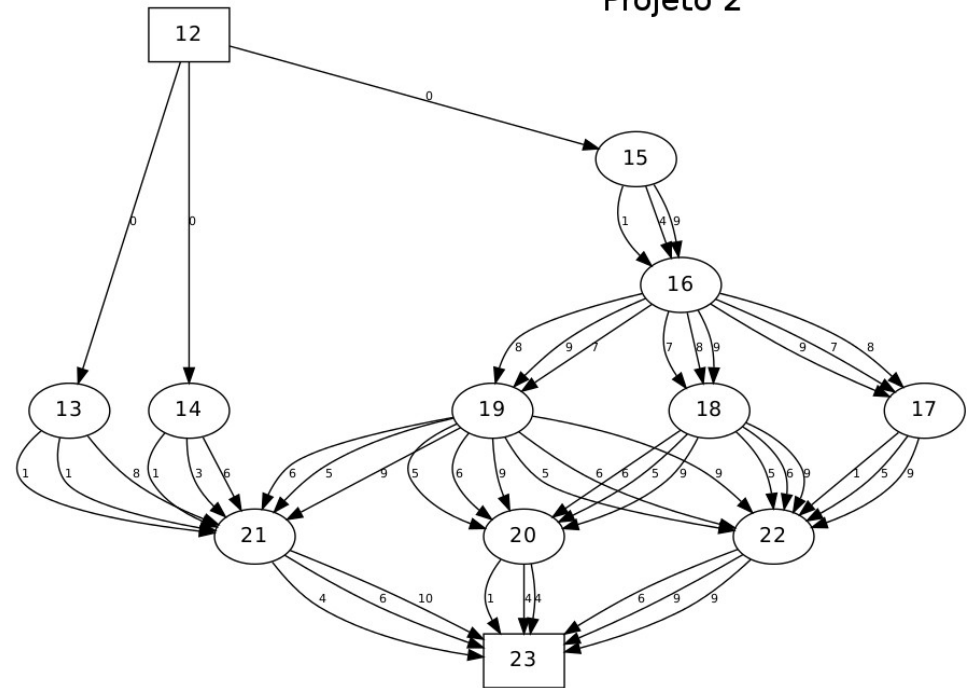
- Modos de Execução:
 - Múltiplos modos: algumas tarefas podem ser executadas de diferentes maneiras, cada maneira pode ter uma *duração* diferente e *consumo* diferente de *recursos*

Problema com Múltiplos Modos de Ex.

Projeto 1



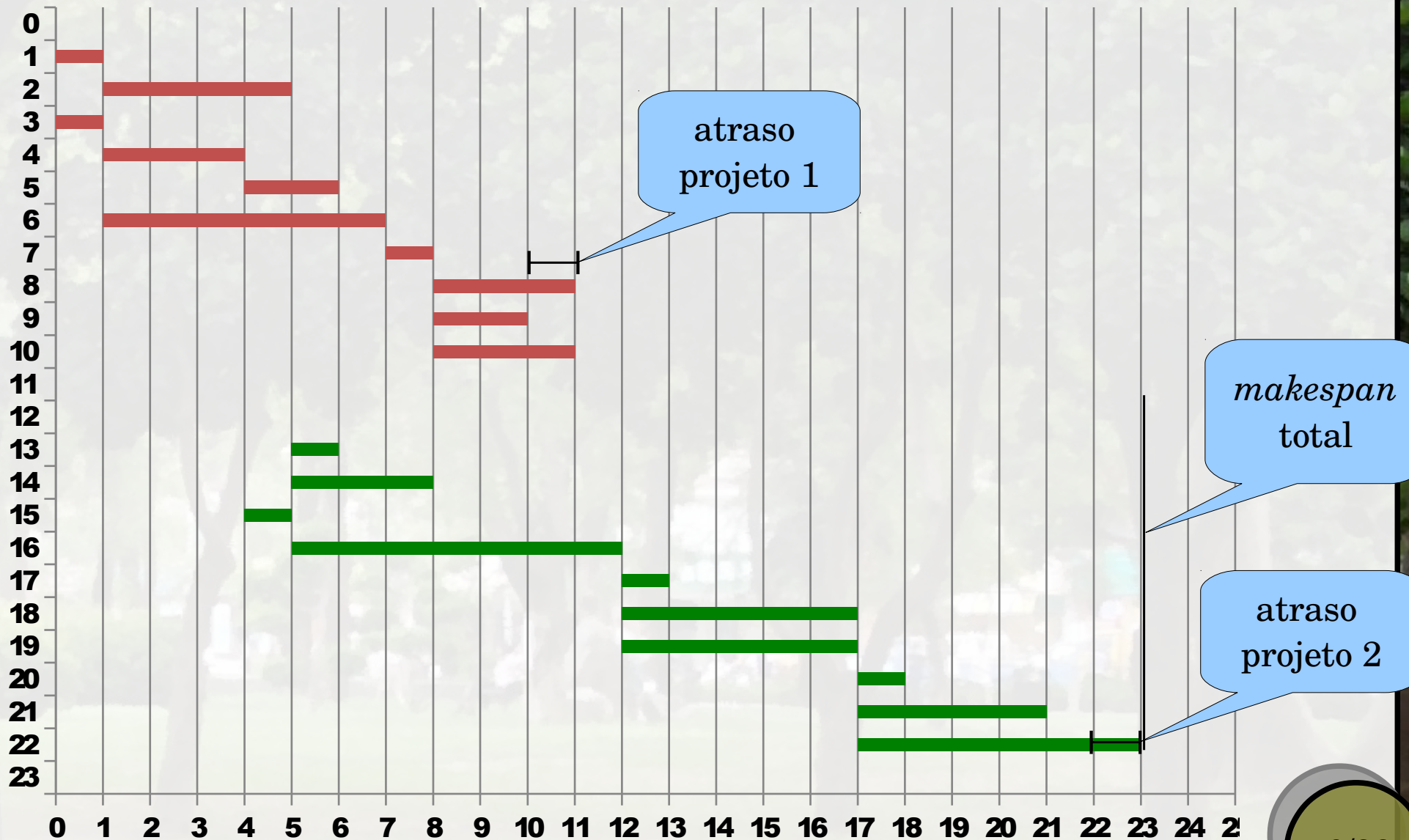
Projeto 2



MRCMPSP :
Multi-Mode
Resource-Constrained
Multi-Project
Scheduling Problem

- 1997 : PSPLib: biblioteca com problemas de escalonamento de projetos
- não considera múltiplos projetos
 - recursos globais

Múltiplos Projetos



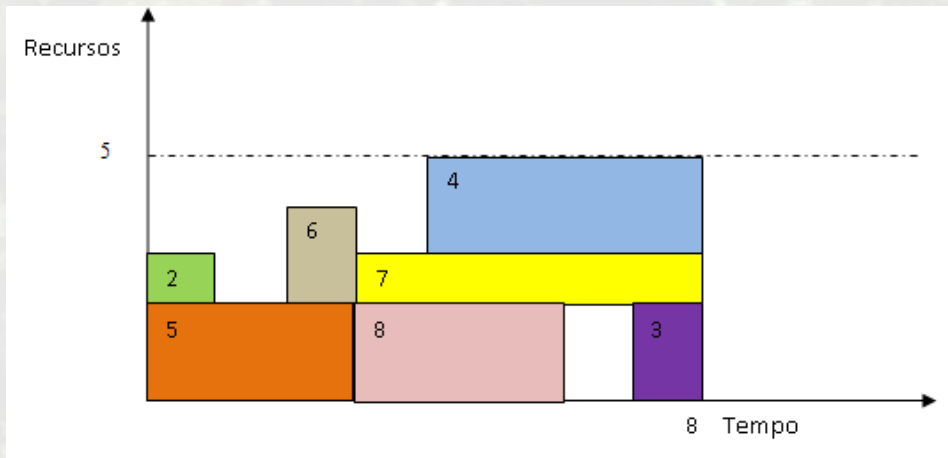
Múltiplos Projetos

- Função objetivo hierárquica:
 - Minimizar:
 - *Total Project Delay* (TPD) : somatório dos tempos de finalização dos projetos – limite inferior para execução desses (caminho crítico)
 - *Total Makespan* (TMS) : tempo de finalização do último projeto

Métodos de Resolução

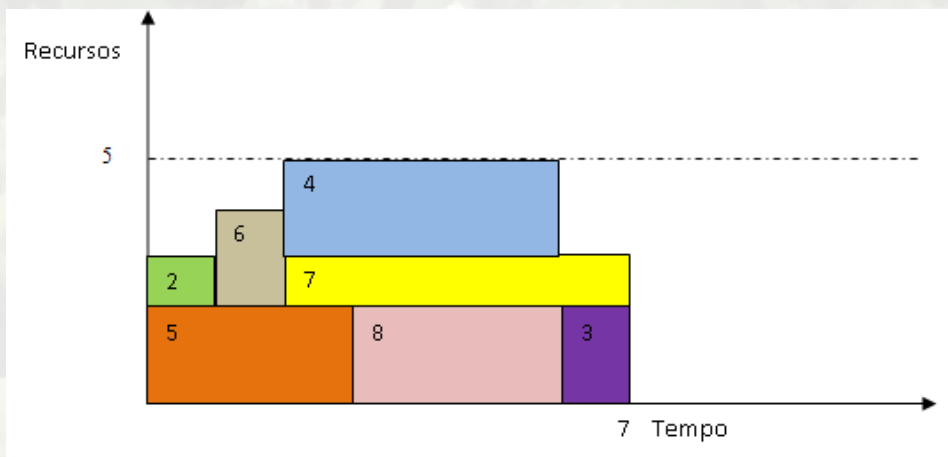
- Heurísticas
 - Construtivas
 - Busca Local
- Programação Inteira
 - Formulações
 - Heurísticas de Prog. Matemática

Tipos de Soluções



Escalonamento Factível

- todas as alocações realizadas (completo);
- restrições satisfeitas.



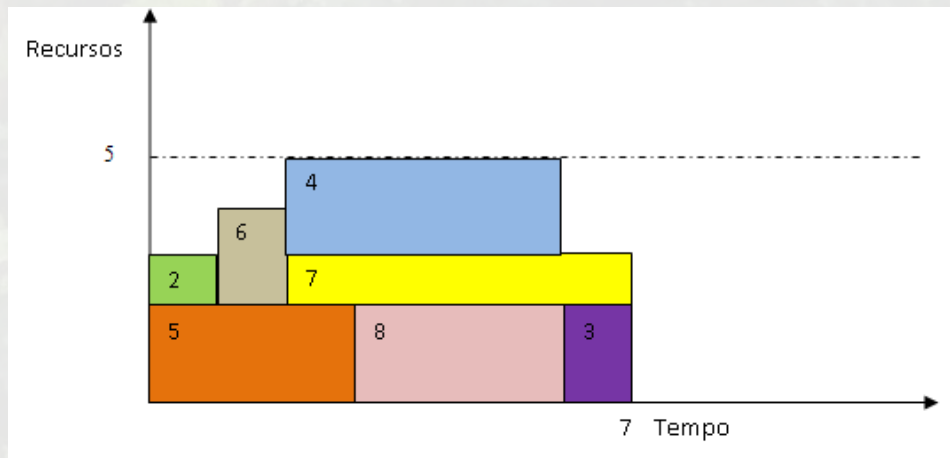
Escalonamento Semi-Ativo

- factível;
- tarefas deslocadas à esquerda, unidade a unidade, enqt. possível

Tipos de Soluções

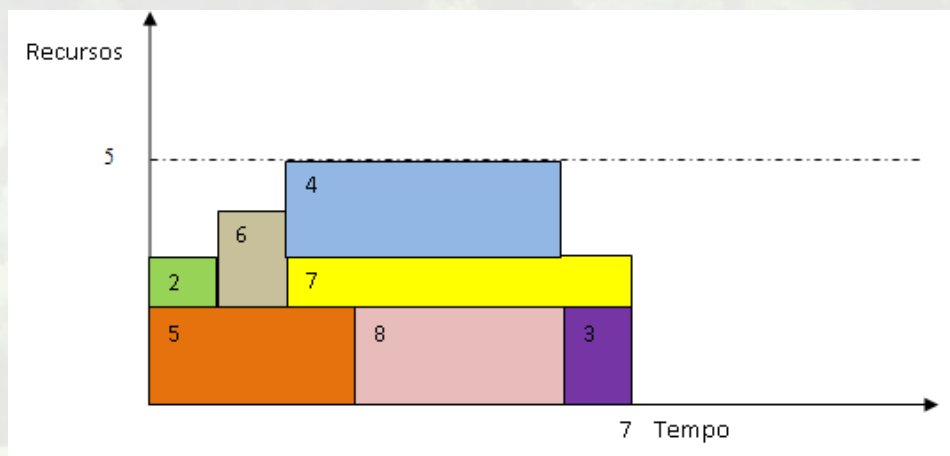
Escalonamento Semi-Ativo

- factível;
- tarefas deslocadas à esquerda, unidade a unidade, enqt. Possível.



Escalonamento Ativo

- factível;
- sem mais deslocamentos globais à esquerda possíveis.

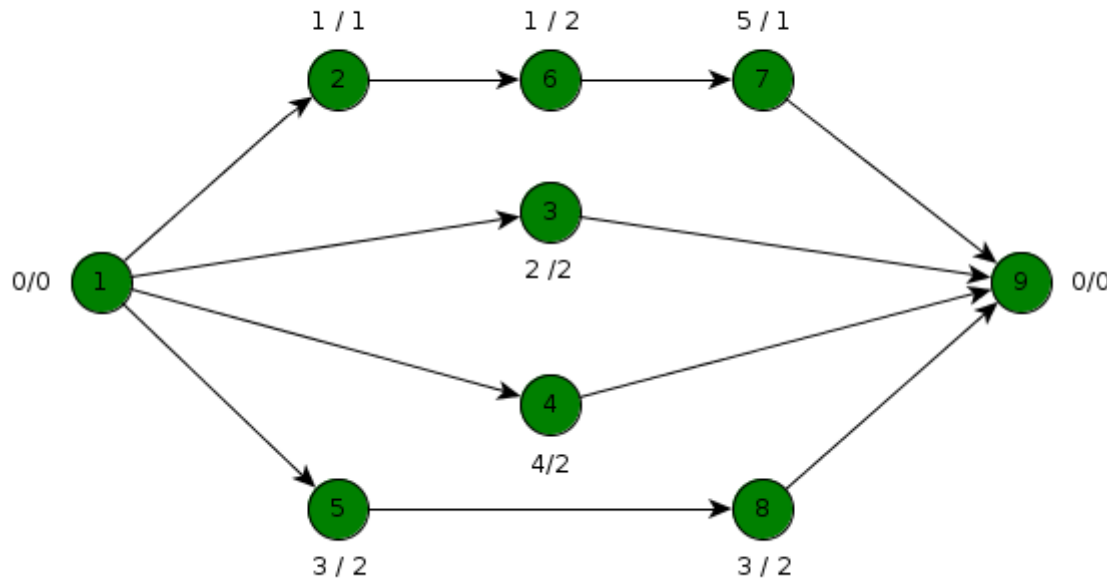


Heurísticas Construtivas

- Elencam **prioridades** (**estáticas** ou **dinâmicas**) para as tarefas e alocam cada tarefa no menor tempo possível
- **Prioridades**:
 - baseadas em rede: ex.: grau dos vértices
 - tarefas: duração, *EST*, *LST*, Folga (inf. CPM)
 - *ESTD* e *LSTD* FolgaD (dinâmicos) : calculados considerando alocações já feitas
 - uso de recursos
 - Composição: soma ponderada dos critérios anteriores

Construção com Diferentes Prioridades

1 Recurso Renovável = 5



EST: < 1,2,3,4,5,6,7,8,9 >

EFT: < 1,2,3,6,5,4,8,7,9 >

LST: < 1,2,5,6,7,4,8,3,9 >

LFT: < 1,2,6,5,3,4,7,8,9 >

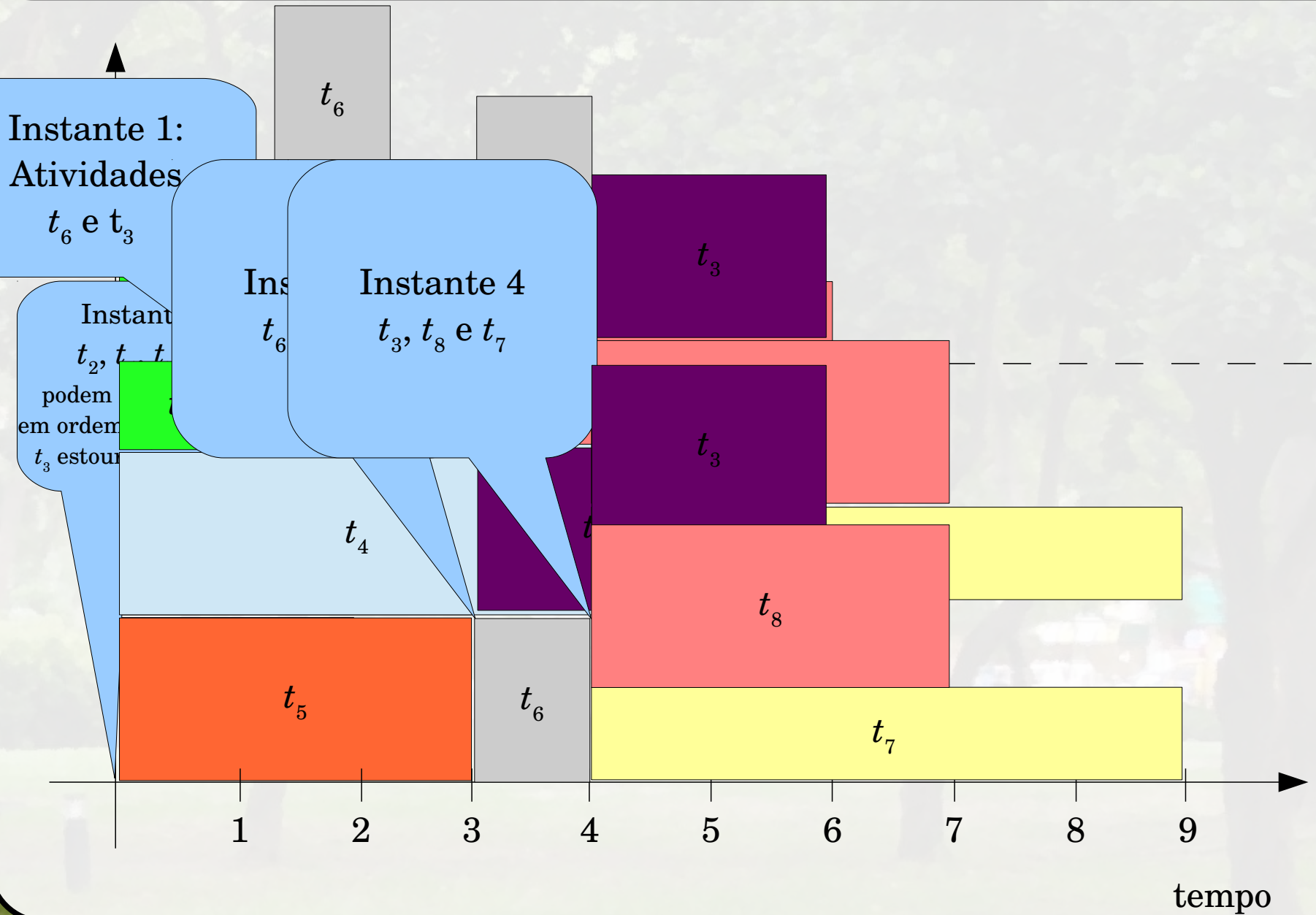
Construção com prioridades

- Esquema de Geração em Série (*SGS Serial*: Schedule Generation Scheme - Serial):
 1. escolha uma atividade não alocada que esteja disponível (predecessores alocados) de acordo com a prioridade;
 2. verifique o menor tempo possível para alocação da mesma, verificando precedências e disponibilidade de recursos;
 3. se solução incompleta volte para 1.

SGS Paralelo:

- Considera *pontos de decisão* (eventos) : instantes de conclusão de atividades (incluindo 0) para alocação de novas tarefas, de modo que no máximo n diferentes instantes de tempo são considerados
- Considerando um ponto de decisão por vez o método:
 - Elenca todas as tarefas que podem ser alocadas naquele instante
 - Seguindo a ordem de prioridade aloca todas as tarefas possíveis naquele instante
- Determina novo ponto de decisão e continua

SGS Paralelo



Busca Local

- Movimentação de tarefas no horizonte de planejamento
 - Restrita por
 - Precedências
 - recursos
 - Pequeno conjunto de movimentos válidos para 1 tarefa
 - Alternativas:
 - Combinar movimentos simples:
 - FBI Forward Backward Improvement
 - Trabalhar com representação indireta da solução

Busca Local em Representação Indireta

Prioridades usadas para construir a solução atual:

$\langle 1, 2, 5, 6, 7, 4, 8, 3, 9 \rangle$

ordens obtidas
aumentando a prioridade
de um elemento em
uma posição

$\langle 2, 1, 5, 6, 7, 4, 8, 3, 9 \rangle$

$\langle 1, 2, 5, 7, 6, 4, 8, 3, 9 \rangle$

$\langle 1, 2, 5, 6, 7, 8, 4, 3, 9 \rangle$

$\langle 1, 2, 5, 6, 7, 4, 8, 9, 3 \rangle$

$\langle 1, 5, 2, 6, 7, 4, 8, 3, 9 \rangle$

$\langle 1, 2, 5, 6, 4, 7, 8, 3, 9 \rangle$

$\langle 1, 2, 5, 6, 7, 4, 3, 8, 9 \rangle$

para cada ordem o algoritmo construtivo
será executado novamente

FBI: *Forward & Backward Improvement*

- Faz séries de modificações pontuais na solução sem gerar infeasibilidades:
 - Passo 1 – *Forward*: tarefas são alinhadas, uma a uma, o mais à direita possível, tal que não sejam geradas infeasibilidades ou aumente-se o *makespan*
 - Passo 2 – *Backward*: tarefas são alinhadas, uma a uma, o mais a esquerda possível, tal que não sejam geradas infeasibilidades
- Execuções sucessivas dos Passos 1 e 2 podem melhorar o *makespan*
 - diferentes ordens podem ser usadas em cada etapa

Busca Local: Comparação

- Representação indireta
 - ✗ custosa computacionalmente
 - ✗ diferentes ordens podem gerar a mesma solução
 - ✓ todas as soluções válidas podem ser geradas
 - ✓ implementação trivial
 - ✓ facilmente paralelizável
- FBI:
 - ✓ rápida (não requer reconstrução total)
 - ✗ não gera todas as soluções possíveis

Programação Inteira

- Duas formulações principais são usadas
 - indexada por tempo Pritsker (1969)
 - baseada em eventos OOE (On/Off event based) Artigues (2003)
- Formulações serão apresentadas de maneira simplificada/resumida:
 - modo único
 - único projeto
 - somente recursos renováveis
- Adaptações para considerar o MRCMPSPé são simples...

Dados de Entrada

J conjunto atividades;

d_j duração da atividade j ;

T horizonte de tempo;

P_j tarefas predecessoras de j ;

R conjunto de recursos renováveis;

q_r disp. do recurso r ;

EFT_j tempo mín. de finalização;

LFT_j tempo máx. de finalização.

Formulação Indexada por Tempo

$$x_{jt} = \begin{cases} 1 & \text{se tarefa } j \text{ alocada no instante } t \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{Minimize: } \sum_{t=EFT_n}^{LFT_n} t \cdot x_{nt}$$

O número de variáveis depende das tarefas e também do horizonte de tempo, que deve ser especificado.

Formulação Indexada por Tempo

$$\sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} x_{jt} = 1 \quad \forall j \in J \quad (1)$$

$$\sum_{t=EST_{j_1}}^{LFT_{j_1}} t \cdot x_{j_1 t} \leq \sum_{t=EST_{j_2}}^{LFT_{j_2}} (t \cdot x_{j_2 t} - d_j) \quad \forall (j_1, j_2) \in Pred(\mathcal{D})$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{q=\max(t, EFT_j)}^{\min(t+d_j-1, LFT_j)} q_{rj} \cdot x_{jq} \leq q_r^{disp} \quad \forall r \in R, \forall t \in \mathcal{T}(3)$$

Pred : conjunto de pares indicando precedência

Formulação On/Off Event Based

$$z_{je} = \begin{cases} 1 & \text{se tarefa } j \text{ está sendo processada no evento } e \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

máx. de n eventos para n tarefas.

$t_e \in \mathbb{Z}^+$: tempo do evento e

$m \in \mathbb{Z}^+$: makespan

Minimize: m

Formulação OOE - Restrições

$$\sum_{e \in \xi} z_{je} \geq 1 \quad \forall j \in J$$

$$m \geq t_e + (z_{je} - z_{j,e-1}) d_j \quad \forall e \in \xi, \forall j \in J$$

$$t_0 = 0$$

$$t_{e+1} \geq t_e \quad \forall e \in \xi : e \neq n - 1$$

$$t_f \geq t_e + ((z_{je} - z_{j,e-1}) - (z_{jf} - z_{j,f-1}) - 1) d_j$$

$$\forall (e, f, j) \in \xi^2 \times J, f > e$$

...

Desempenho Formulações

- Maior problema MISTA Challenge “tratável” com formulação indexada por tempo
 - A-4: 5 projetos, 60 tarefas e horizonte de ≈ 50 unidades de tempo
 - GAP $\approx 10\%$ em algumas horas

Heurística MIP

- Submissão GOAL pro MISTA 2013 Challenge:
 - Definição inicial de Modos
 - Construtivo MIP
 - Busca local FBI iterada com mudança de modos por MIP

Heurística MIP

- Definição inicial de modos
 - modelo seleciona um conjunto factível (considerando recursos não renováveis) de modos de execução para tarefas do projeto
 - não considera recursos renováveis
 - Minimiza:
 1. tempo de finalização dos projetos
 2. comprimento de caminhos periféricos
 3. duração das tarefas
- Permite a execução posterior de algoritmos gulosos

Construtivo MIP

- Cria uma *janela deslizante* de tamanho w que avança no horizonte de tempo
 - se $w = |T|$ resolvemos todo o problema
- Em cada iteração o modelo resolvido consiste em:
 - alocar um subconjunto das tarefas não alocadas
 - f_0 :
 - 1.completar projetos
 - 2.alocar o máximo de tarefas de acordo com uma prioridade
 - 3.minimizar o tempo geral de conclusão

Busca Local

- Melhoras por FBI
 - dificuldade de escapar de ótimos locais
- Proposta:
 - Resolver modelo MIP cujo objetivo é, considerando uma janela de tempo, alterar modos de processamento de tarefas sem incorrer em infactibilidade
 - FBI é aplicado em solução com novos modos...

MISTA 2013 Challenge - Results

Rank	Members	Team Id	Mean rank
1	A. Kheiri, S. Asta, E. Ozcan, D. Karapetyan and A. Parkes	11	1,10
2	M.J. Geiger	8	2,55
★ 3	T.A.M. Toffolo, H.G. Santos, M.A. Moreira de Carvalho and J. Soares	1	3,05
4	C. Artigues and E. Hébrard	20	3,60
5	L.M. Borba, A.J. Benavides, T. Zubarán, G. Carniel and M. Ritt	13	6,75
5	F. Alonso-Pecina, J.E. Pecero-Sanchez and R. Vargas David	15	6,75
5	M. López-Ibáñez, M.-E. Marmion, F. Mascia and T. Stütze	17	6,75
8	H. Bouly, D.-C. Dang, A. Moukrim and H. Xu	14	6,85
9	A. Schnell	21	7,60

MISTA 2013 - Challenge

