Um Algoritmo de Escalonamento para Redução do Consumo de Energia em Computação em Nuvem

Pedro Paulo Vezzá Campos
Orientador: Prof. Dr. Daniel Macêdo Batista

MAC0499 – Trabalho de Formatura Supervisionado
Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
[pedrovc,batista]@ime.usp.br

8 de novembro de 2013

Agenda

Motivação & Conceitos

- Consumo energético
- Escalonamento de fluxos de trabalho
- Um algoritmo clássico: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

Experimentos

Conclusões

Agenda

Motivação & Conceitos

- Consumo energético
- Escalonamento de fluxos de trabalho
- Um algoritmo clássico: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

Experimentos

Conclusões

Agenda

Motivação & Conceitos

- Consumo energético
- Escalonamento de fluxos de trabalho
- Um algoritmo clássico: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

Experimentos

- O desenvolvimento de um novo algoritmo: Êxitos e frustrações

Conclusões

- Lições aprendidas e trabalhos futuros

Agenda

Motivação & Conceitos

- Consumo energético
- Escalonamento de fluxos de trabalho
- Um algoritmo clássico: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

Experimentos

- O desenvolvimento de um novo algoritmo: Êxitos e frustrações

Conclusões

Agenda

Motivação & Conceitos

- Consumo energético
- Escalonamento de fluxos de trabalho
- Um algoritmo clássico: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

Experimentos

- O desenvolvimento de um novo algoritmo: Êxitos e frustrações

Conclusões

- Análise das contribuições e resultados obtidos

Agenda

Motivação & Conceitos

- Consumo energético
- Escalonamento de fluxos de trabalho
- Um algoritmo clássico: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

Experimentos

- O desenvolvimento de um novo algoritmo: Êxitos e frustrações

Conclusões

- Análise das contribuições e resultados obtidos

Agenda

Motivação & Conceitos

- Consumo energético
- Escalonamento de fluxos de trabalho
- Um algoritmo clássico: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

Experimentos

- O desenvolvimento de um novo algoritmo: Êxitos e frustrações

Conclusões

- Análise das contribuições e resultados obtidos

Agenda

Motivação & Conceitos

- Consumo energético
- Escalonamento de fluxos de trabalho
- Um algoritmo clássico: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

Experimentos

- O desenvolvimento de um novo algoritmo: Êxitos e frustrações

Conclusões

- Análise das contribuições e resultados obtidos

Agenda

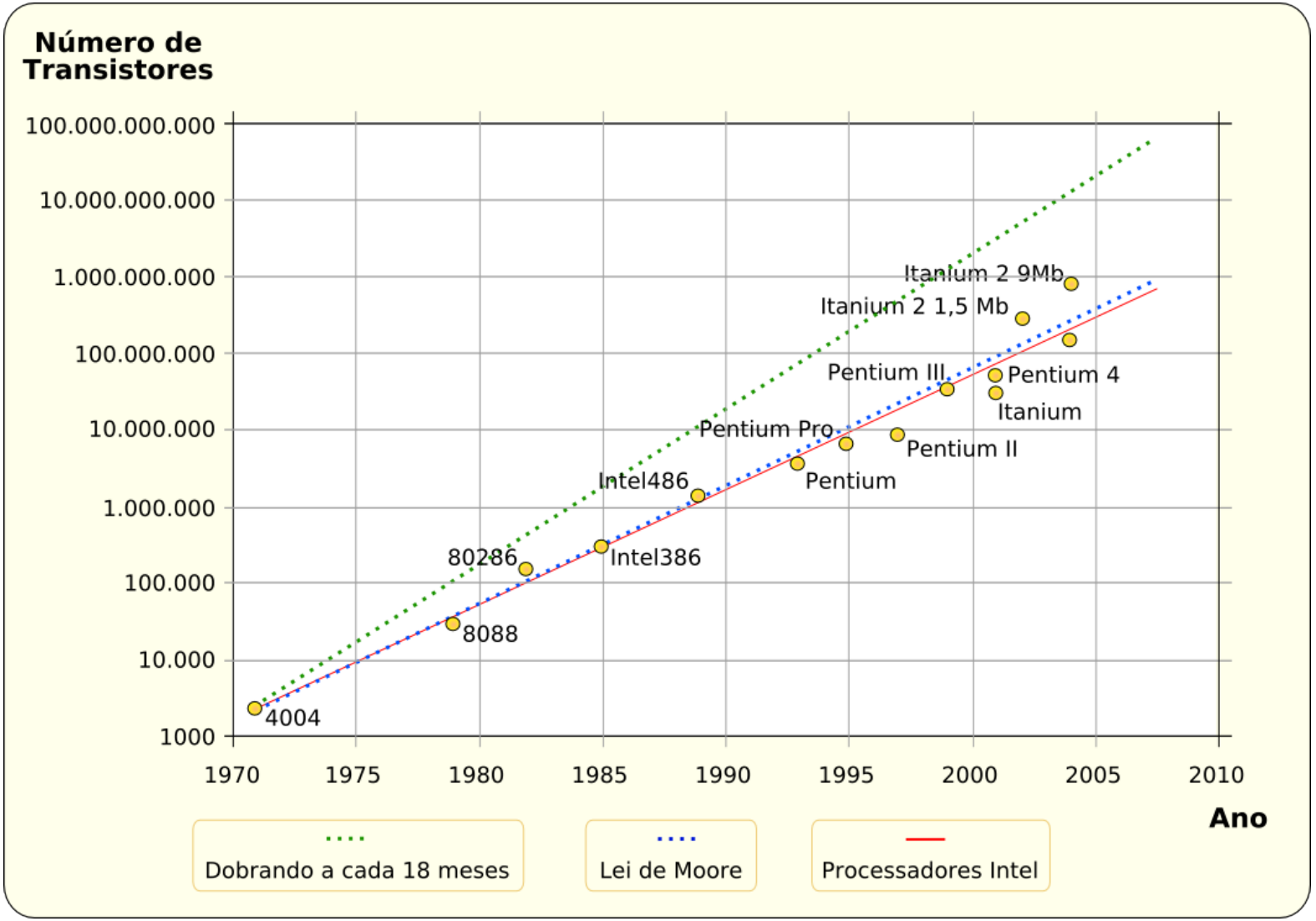


Figura: Lei de Moore [1]

[1] Fonte: Wikipédia, http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Lei_de_moore_2006.svg.png, em domínio público

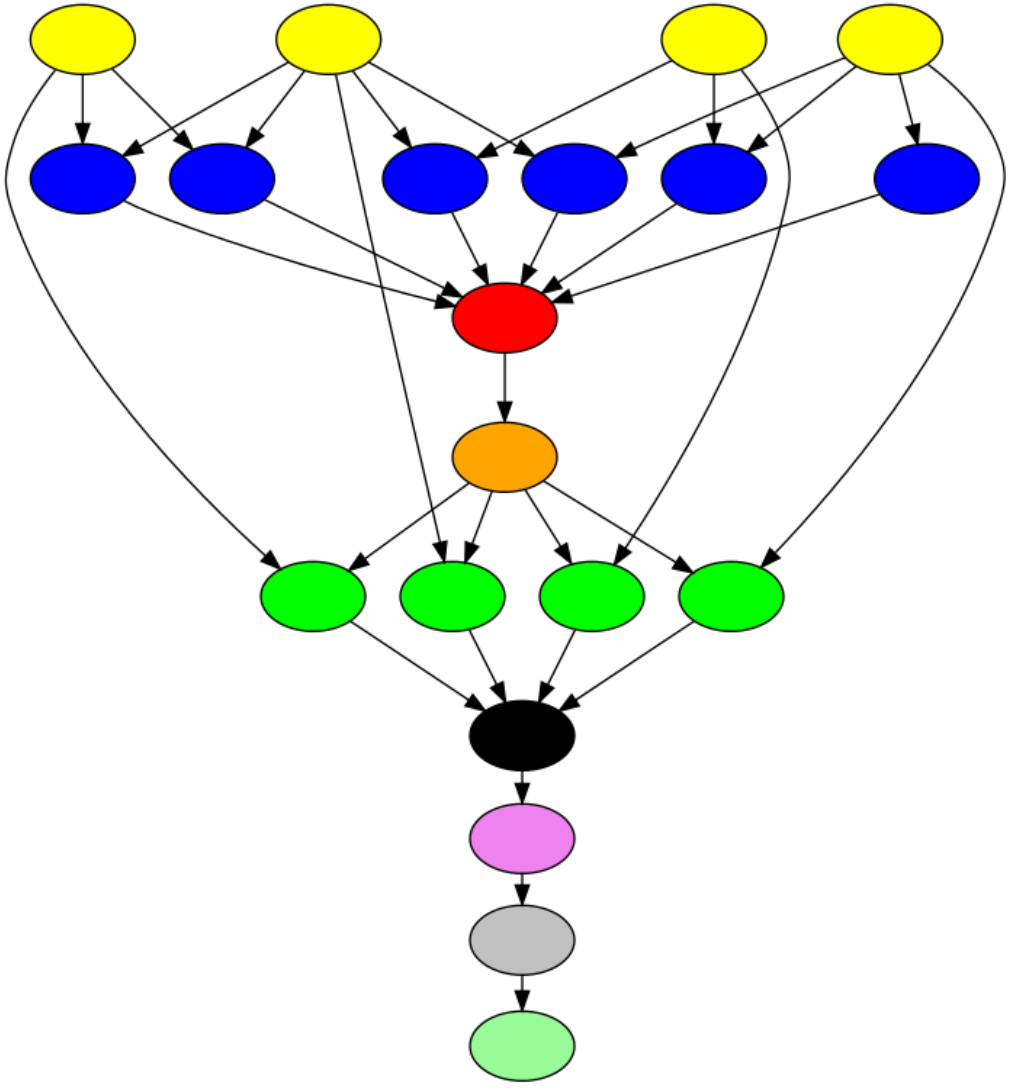
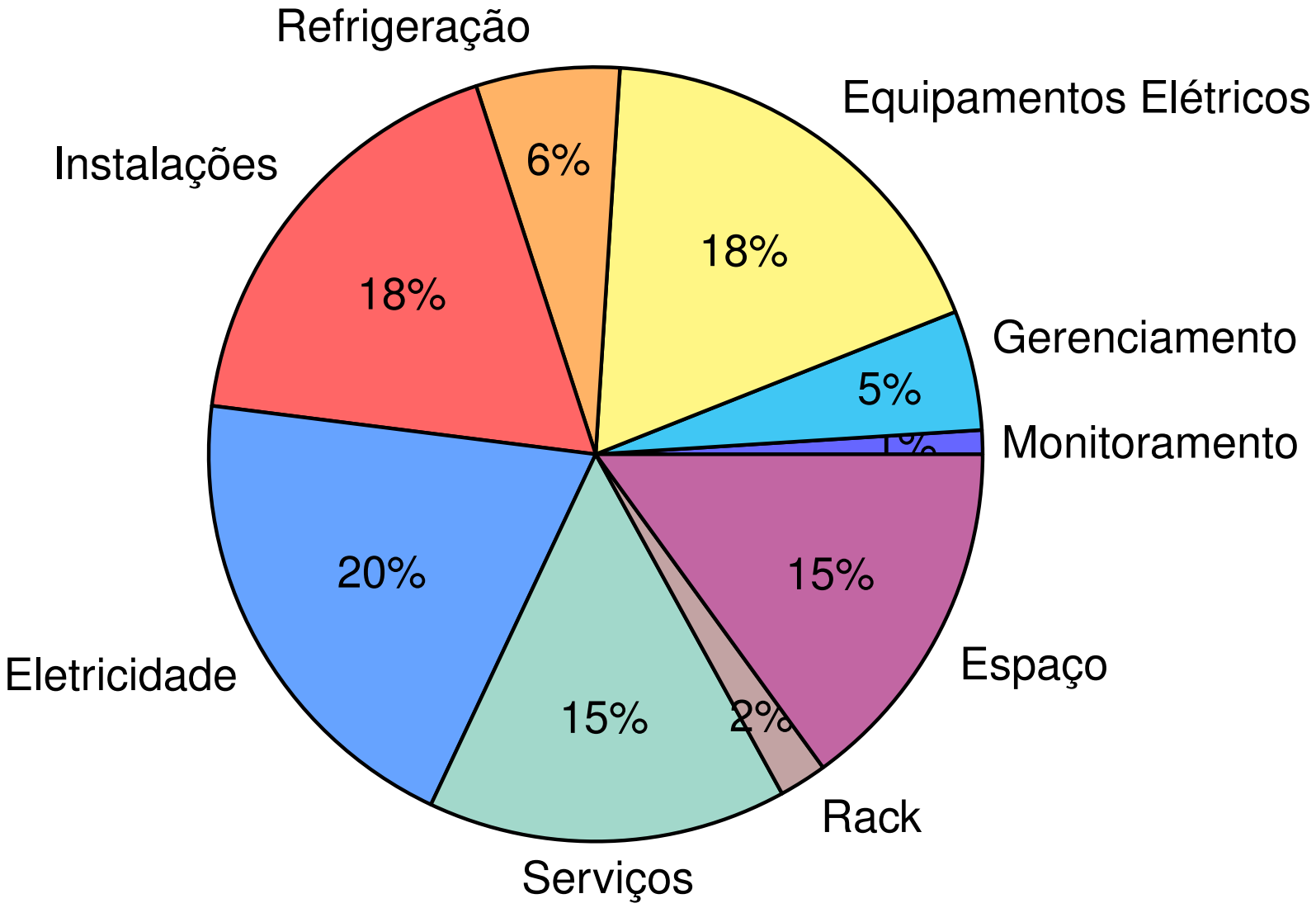


Figura: Montage: Gerador de mosaicos astronômicos

Agenda

Computação em nuvem



Estratégias para economia de energia

- **DVFS**: *Dynamic Voltage and Frequency Scaling*
- **Migração** de máquinas virtuais
- **Algoritmos de escalonamento** energeticamente eficientes

Estratégias para economia de energia

- **DVFS**: *Dynamic Voltage and Frequency Scaling*
- **Migração** de máquinas virtuais
- **Algoritmos de escalonamento** energeticamente eficientes

Estratégias para economia de energia

- **DVFS**: *Dynamic Voltage and Frequency Scaling*
- **Migração** de máquinas virtuais
- **Algoritmos de escalonamento** energeticamente eficientes

HEFT: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

- Publicado em **2002**
- Bastante aceito na comunidade científica (Quase **mil citações**)
- Duas fases: **priorização** e **seleção**

HEFT: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

- Publicado em **2002**
- Bastante aceito na comunidade científica (Quase **mil citações**)
- Duas fases: **priorização** e **seleção**

HEFT: *Heterogeneous Earliest Finish Time*

- Publicado em **2002**
- Bastante aceito na comunidade científica (Quase **mil citações**)
- Duas fases: **priorização** e **seleção**

Fase de priorização

- **Qual** tarefa **escalonar primeiro**?
- Algoritmo **offline**
- Ordenação topológica:

$$rank_u(n_i) = \overline{w_i} + \max_{n_j \in succ(n_i)} (\overline{c_{i,j}} + rank_u(n_j))$$

Fase de priorização

- **Qual** tarefa **escalonar primeiro**?
- Algoritmo **offline**
- Ordenação topológica:

$$rank_u(n_i) = \overline{w_i} + \max_{n_j \in succ(n_i)} (\overline{c_{i,j}} + rank_u(n_j))$$

Fase de priorização

- **Qual** tarefa **escalonar primeiro**?
- Algoritmo **offline**
- Ordenação topológica:

$$rank_u(n_i) = \overline{w_i} + \max_{n_j \in succ(n_i)} (\overline{c_{i,j}} + rank_u(n_j))$$

Fase de seleção

- Minimizar o **tempo mais cedo de conclusão** (*Earliest finish time*)
- Busca por um **espaço vago** grande o suficiente

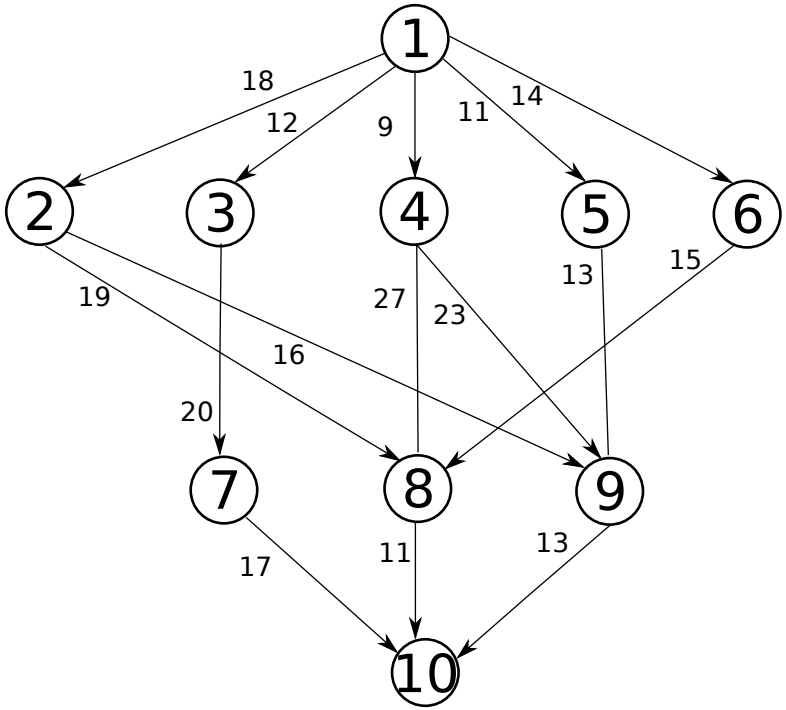
Fase de seleção

- Minimizar o **tempo mais cedo de conclusão** (*Earliest finish time*)
- Busca por um **espaço vago** grande o suficiente

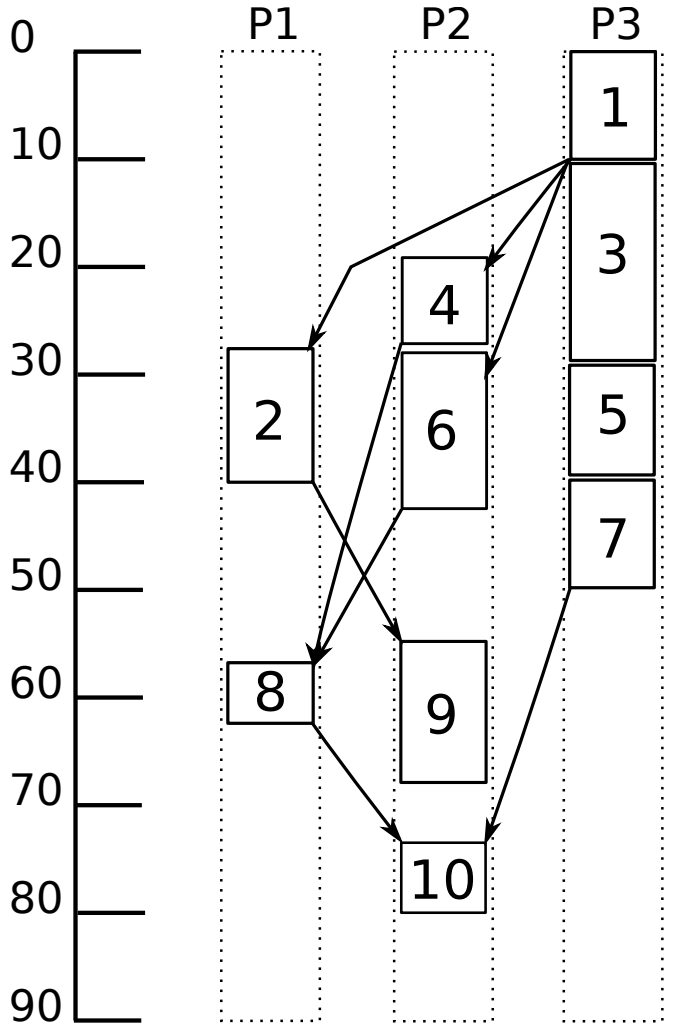
Algoritmo

HETEROGENEOUS-EARLIEST-FINISH-TIME()

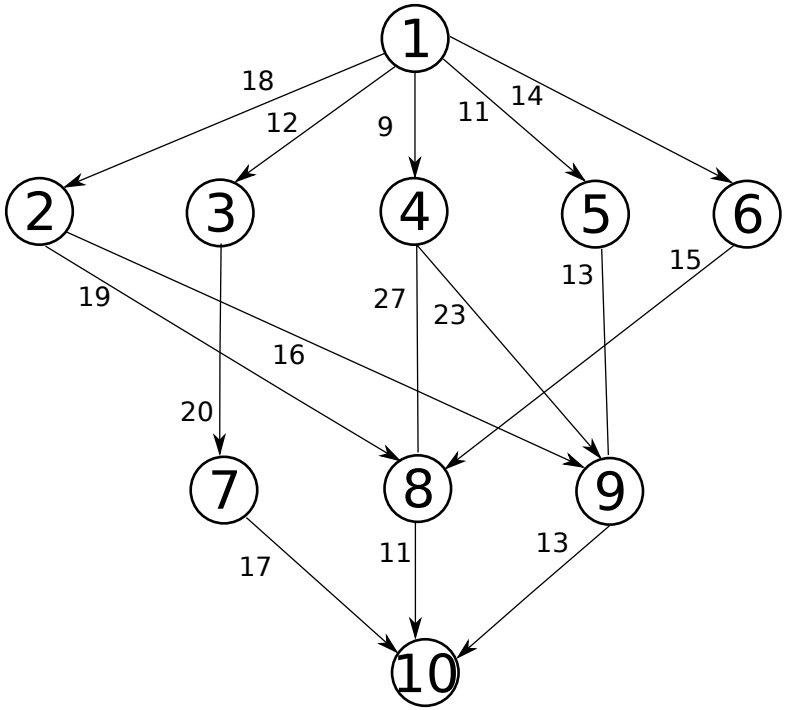
1 Defina os custos computacionais das tarefas e os custos de de comunicação das arestas com valores médios
2 Calcule $rank_u$ para todas as tarefas varrendo o grafo de "baixo para cima", iniciando pela tarefa final.
3 Ordene as tarefas em uma lista de escalonamento utilizando uma ordem não crescente de valores de $rank_u$.
4 **enquanto** há tarefas não escalonadas na lista
5 Selecione a primeira tarefa, n_i da lista de escalonamento.
6 **para** cada processador p_k no conjunto de processadores
7 Calcule o tempo mais cedo de conclusão da tarefa n_i, considerando que ela execute em p_k
8 Defina a tarefa n_i para executar no processador p_j que minimiza o tempo mais cedo de conclusão da tarefa n_i.



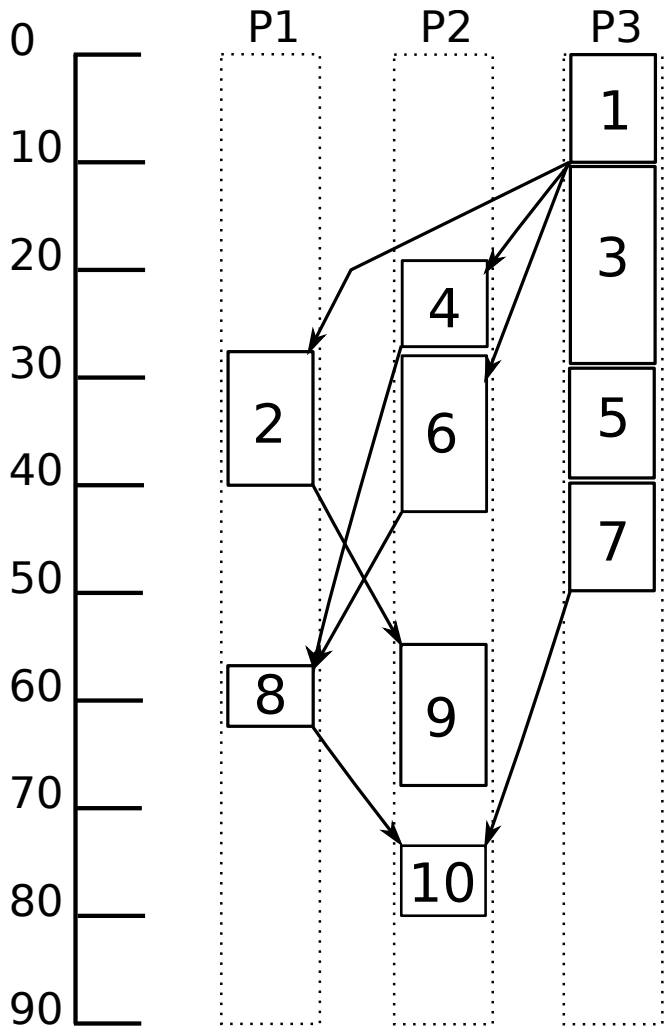
Tarefa	P1	P2	P3	$rank_u(n_i)$
1	14	16	9	108.000
2	13	19	18	77.000
3	11	13	19	80.000
4	13	8	17	80.000
5	12	13	10	69.000
6	13	16	9	63.333
7	7	15	11	42.667
8	5	11	14	35.667
9	18	12	20	44.333
10	21	7	16	14.667



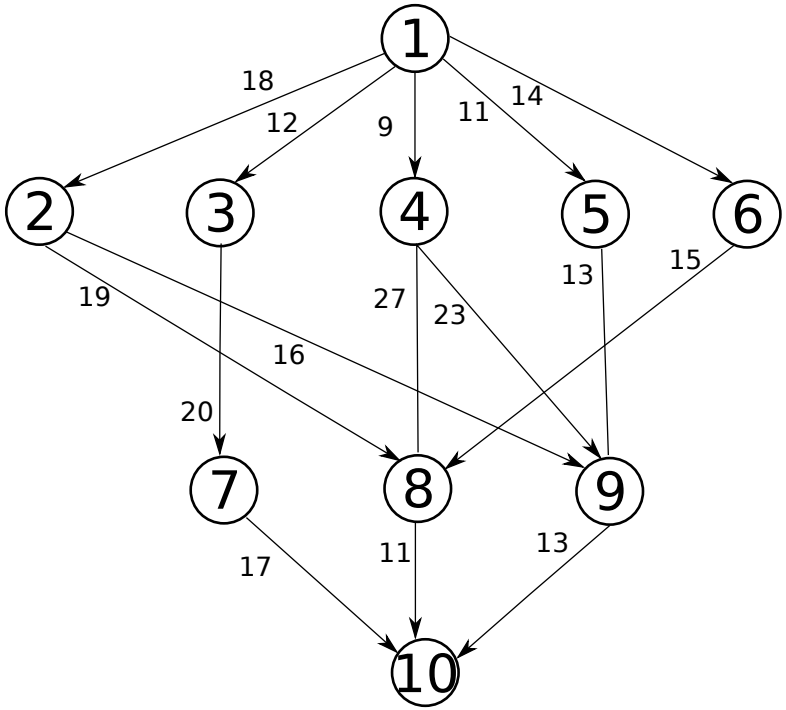
[2]Este exemplo foi adaptado de [THW02]



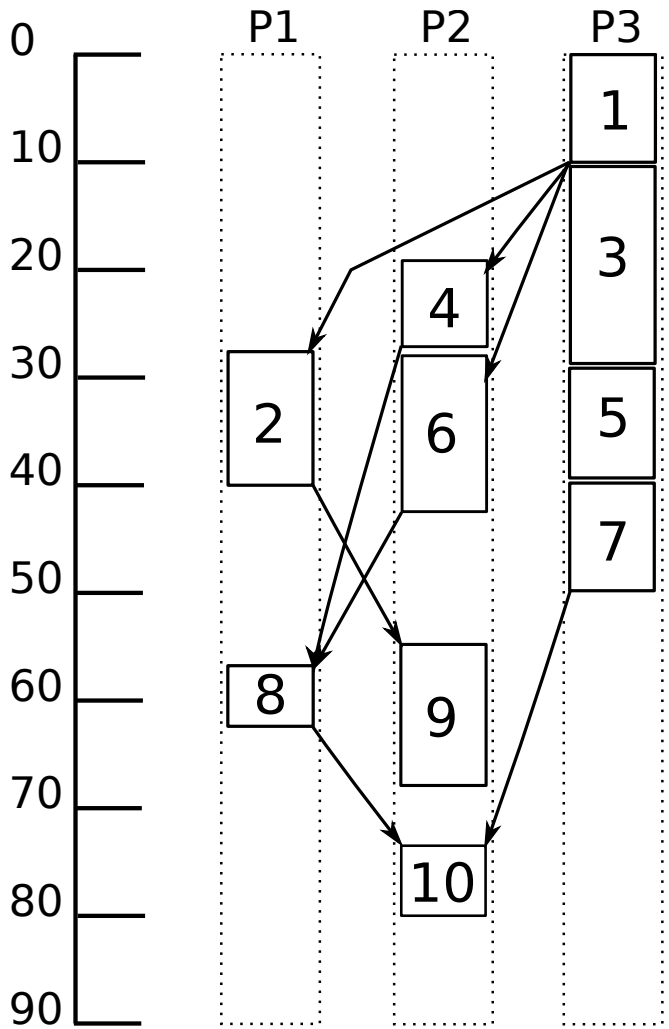
Tarefa	P1	P2	P3	$rank_u(n_i)$
1	14	16	9	108.000
2	13	19	18	77.000
3	11	13	19	80.000
4	13	8	17	80.000
5	12	13	10	69.000
6	13	16	9	63.333
7	7	15	11	42.667
8	5	11	14	35.667
9	18	12	20	44.333
10	21	7	16	14.667



[2]Este exemplo foi adaptado de [THW02]



Tarefa	P1	P2	P3	$rank_u(n_i)$
1	14	16	9	108.000
2	13	19	18	77.000
3	11	13	19	80.000
4	13	8	17	80.000
5	12	13	10	69.000
6	13	16	9	63.333
7	7	15	11	42.667
8	5	11	14	35.667
9	18	12	20	44.333
10	21	7	16	14.667



[2]Este exemplo foi adaptado de [THW02]

Agenda

PowerHEFT

- **Variante** do HEFT, faz uso de uma estratégia de **lookahead**
- **Motivação**: Otimizar o consumo energético de uma **tarefa sozinha não é eficiente**
- Desenvolvido em conjunto com a mestranda **Elaine Naomi Watanabe** (elainew@ime.usp.br)

PowerHEFT

- **Variante** do HEFT, faz uso de uma estratégia de **lookahead**
- **Motivação**: Otimizar o consumo energético de uma **tarefa sozinha não é eficiente**
- Desenvolvido em conjunto com a mestranda **Elaine Naomi Watanabe** (elainew@ime.usp.br)

PowerHEFT

- **Variante** do HEFT, faz uso de uma estratégia de **lookahead**
- **Motivação**: Otimizar o consumo energético de uma **tarefa sozinha não é eficiente**
- Desenvolvido em conjunto com a mestranda **Elaine Naomi Watanabe** (`elainew@ime.usp.br`)

Algoritmo

PowerHEFTLookahead()

1 $V = \{VmMaisRapida\}$ // VMs usadas ao escalonar
2 $O =$ os tipos de VMs que podem ser instanciadas
3 Ordene o conjunto de tarefas segundo o critério $rank_u$
4 **enquanto** há tarefas não escalonadas
5 $t =$ a tarefa não escalonada de maior $rank_u$
6 // Vamos tentar escalonar t em uma VM existente
7 **para** cada v em V:
8 EscalonarPowerHEFT(t, v)
9 // Vamos tentar escalonar t em uma nova VM
10 **para** cada o em O:
11 $V = V \cup \{o\}$
12 Atualize os valores de $rank_u$
13 $t =$ a tarefa não escalonada de maior $rank_u$
14 EscalonarPowerHEFT(t, o)
15 Escalone t na VM que minimiza a energia consumida
16 Atualize V e $rank_u$ caso necessário

Algoritmo

ESCALONARPOWERHEFT(*tarefa*, *VM*)

1 $F =$ filhos diretos da *tarefa* no DAG
2 Escalone *tarefa* em *VM*
3 Escalone F utilizando o algoritmo HEFT
4 // A modelagem energética utilizada está descrita em [GMDC+13]
5 *energia* $=$ ESTIMARENERGIACONSUMIDA()
6 Volte para o escalonamento do começo do laço
7 **retorne** *energia*

Simuladores

CloudSim v3 lançado em **2010**, quase 300 citações

WorkflowSim lançado em **abril de 2013**

CloudSim_DVFS lançado em **junho de 2013** (!!)

Simuladores

CloudSim v3 lançado em **2010**, quase 300 citações

WorkflowSim lançado em **abril de 2013**

CloudSim_DVFS lançado em **junho de 2013** (!!)

Simuladores

CloudSim v3 lançado em **2010**, quase 300 citações

WorkflowSim lançado em **abril de 2013**

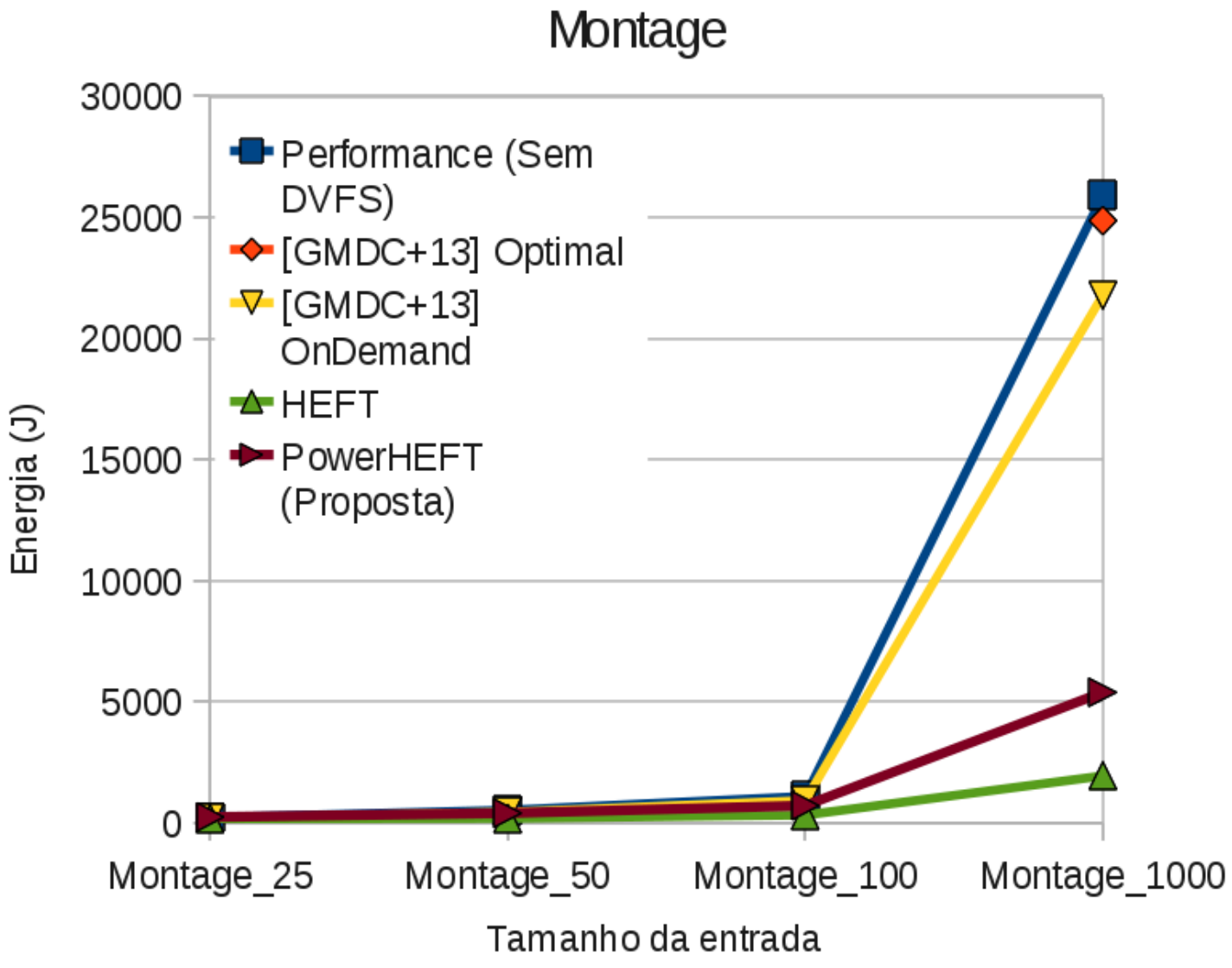
CloudSim_DVFS lançado em **junho de 2013** (!!)

Modelagem energética

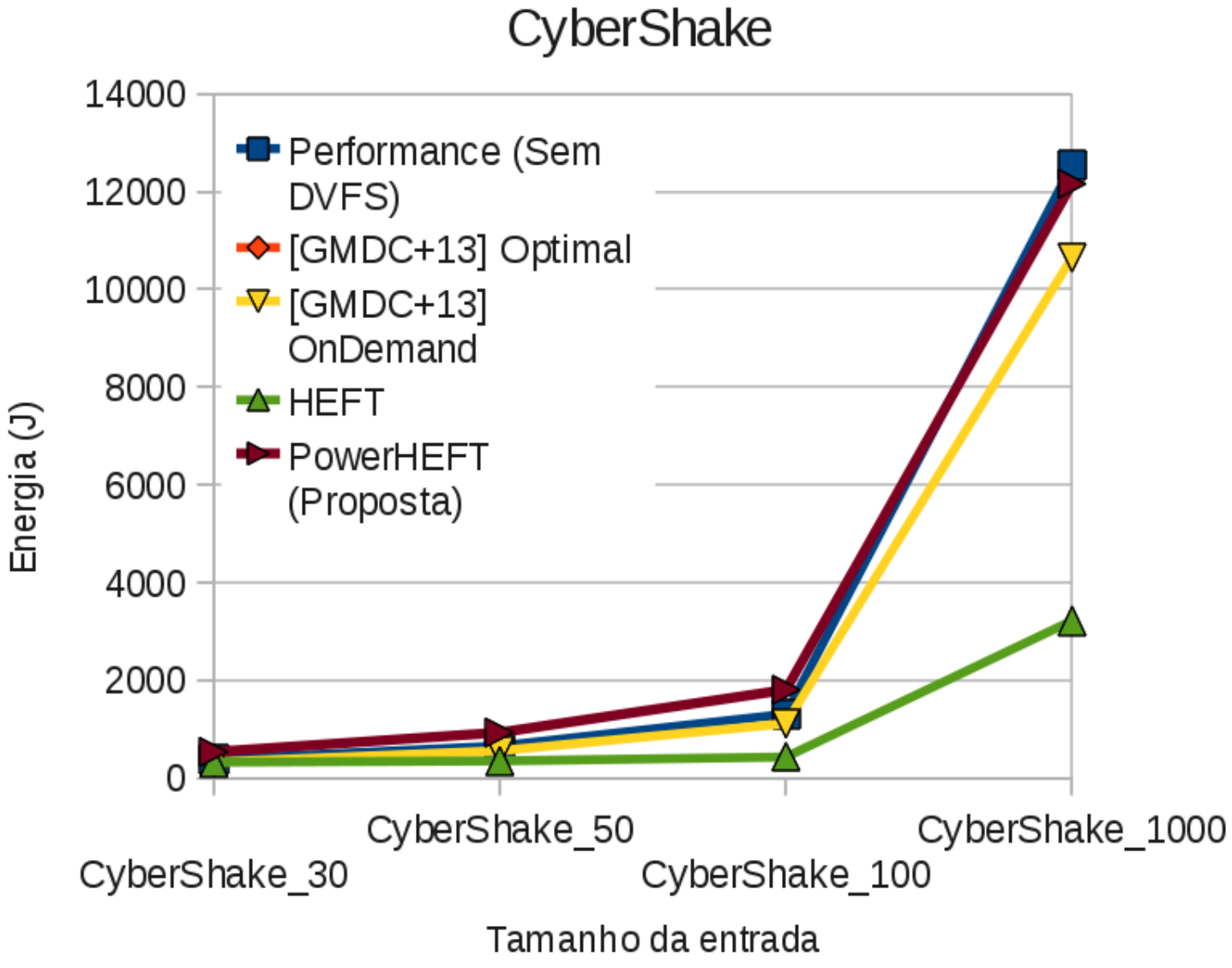
Velocidades (GHz)	**0.8**	**1.0**	**1.2**	**1.5**	**1.7**
Nível ocioso (W)	140	146	153	159	167
Nível máximo (W)	228	238	249	260	272

Tabela: Frequências do Grid'5000 Reims com as medidas de potência durante cargas mínima e máxima (0% e 100% de uso dos 24 cores de um nó de processamento [GMDC+13]

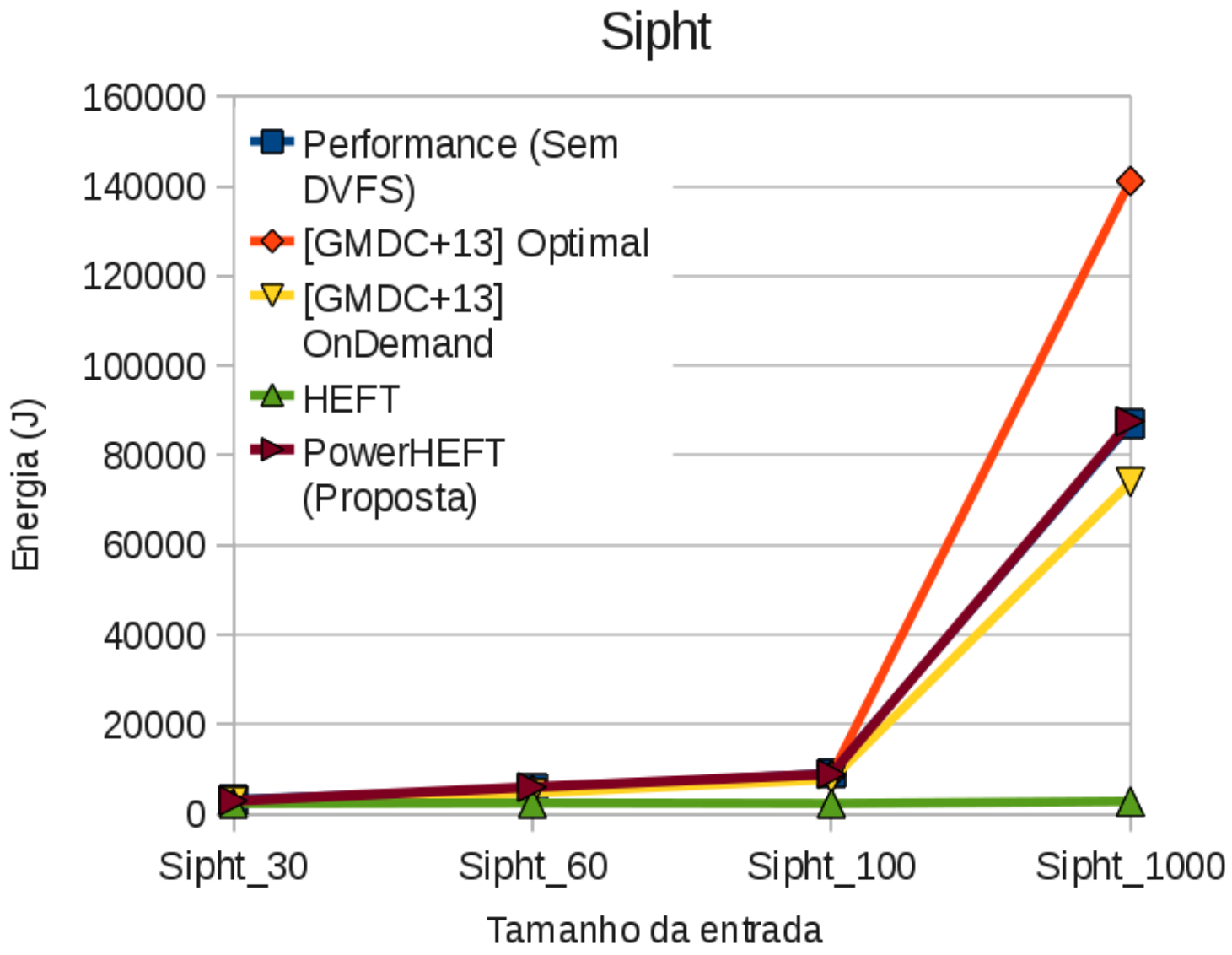
Resultados


Montage
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
Energia (J)
Performance (Sem DVFS)
[GMDC+13] Optimal
[GMDC+13] OnDemand
HEFT
PowerHEFT (Proposta)
Montage_25
Montage_50
Montage_100
Montage_1000
Tamanho da entrada

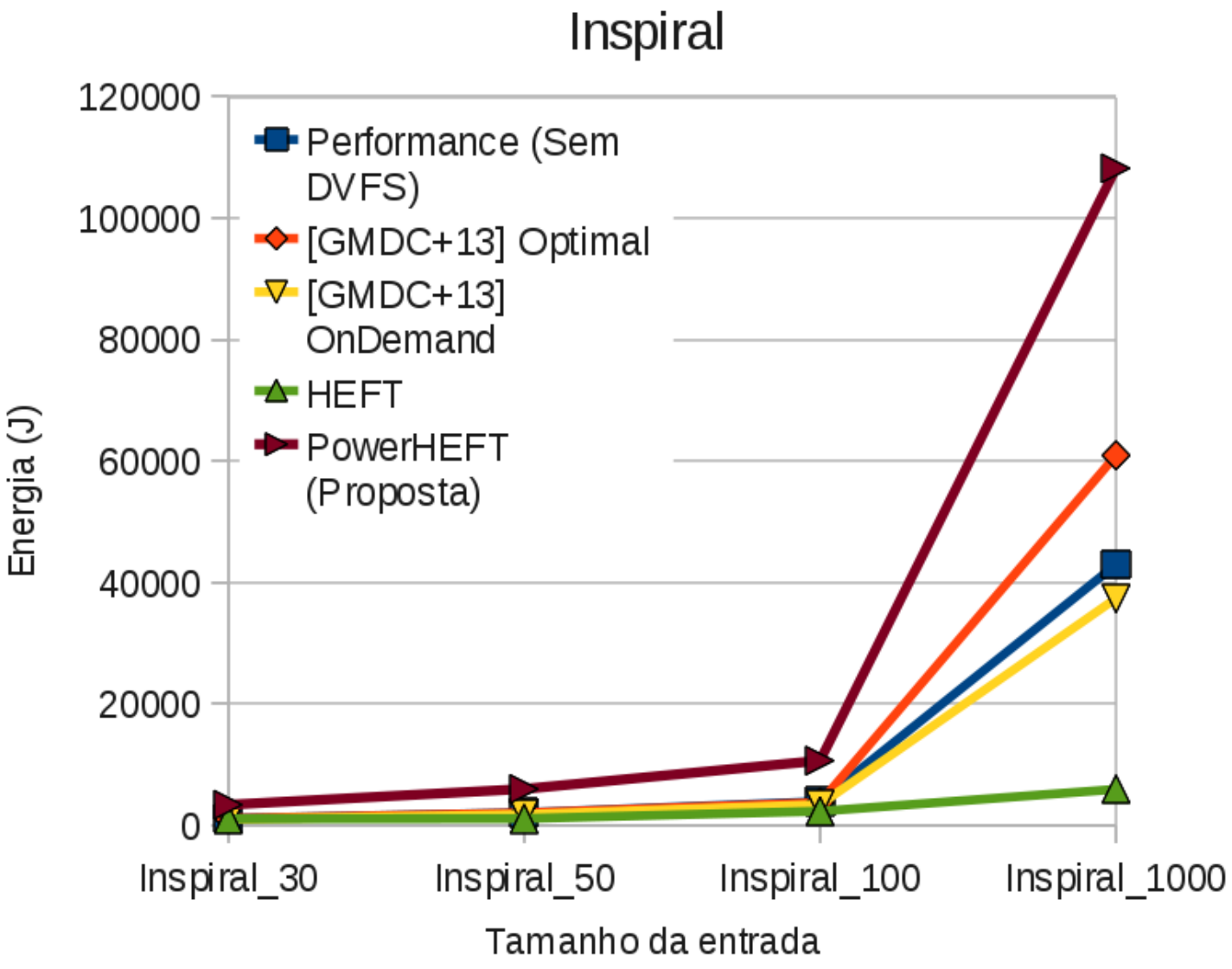
Resultados


CyberShake
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
Energia (J)
Performance (Sem DVFS)
[GMDC+13] Optimal
[GMDC+13] OnDemand
HEFT
PowerHEFT (Proposta)
CyberShake_30
CyberShake_50
CyberShake_100
CyberShake_1000
Tamanho da entrada

Resultados


Sipht
160000
140000
120000
100000
80000
60000
40000
20000
0
Energia (J)
Performance (Sem DVFS)
[GMDC+13] Optimal
[GMDC+13] OnDemand
HEFT
PowerHEFT (Proposta)
Sipht_30
Sipht_60
Sipht_100
Sipht_1000
Tamanho da entrada

Resultados


Inspiral
120000
100000
80000
60000
40000
20000
0
Energia (J)
Performance (Sem DVFS)
[GMDC+13] Optimal
[GMDC+13] OnDemand
HEFT
PowerHEFT (Proposta)
Inspiral_30
Inspiral_50
Inspiral_100
Inspiral_1000
Tamanho da entrada

Agenda

Dificuldades

Técnicas

Dificuldades

Técnicas

- Simuladores muito novos e pouco testados
- Dificuldades para estender as funcionalidades para as necessidades do TCC

Dificuldades

Técnicas

- Simuladores **muito novos** e **pouco testados**
- Dificuldades para **estender as funcionalidades** para as necessidades do TCC

Dificuldades

Técnicas

- Simuladores **muito novos** e **pouco testados**
- Dificuldades para **estender as funcionalidades** para as necessidades do TCC

Dificuldades

Técnicas

- Simuladores **muito novos** e **pouco testados**
- Dificuldades para **estender as funcionalidades** para as necessidades do TCC

Dificuldades

Técnicas

- Simuladores **muito novos** e **pouco testados**
- Dificuldades para **estender as funcionalidades** para as necessidades do TCC

Conceituais

- O HEFT é um algoritmo simples e elegante
- Trabalho ainda **em andamento** para superá-lo
- Escalonamento energeticamente eficiente é uma [illegible] inaugurada [illegible]

Dificuldades

Técnicas

- Simuladores **muito novos** e **pouco testados**
- Dificuldades para **estender as funcionalidades** para as necessidades do TCC

Conceituais

- O HEFT é um algoritmo **simples e elegante**
- Trabalho ainda **em andamento** para superá-lo
- Escalonamento energeticamente eficiente é uma **área de pesquisa** inaugurada há **meses**

Dificuldades

Técnicas

- Simuladores **muito novos** e **pouco testados**
- Dificuldades para **estender as funcionalidades** para as necessidades do TCC

Conceituais

- O HEFT é um algoritmo **simples e elegante**
- Trabalho ainda **em andamento** para superá-lo
- Escalonamento energeticamente eficiente é uma **área de pesquisa** inaugurada há **meses**

Dificuldades

Técnicas

- Simuladores **muito novos** e **pouco testados**
- Dificuldades para **estender as funcionalidades** para as necessidades do TCC

Conceituais

- O HEFT é um algoritmo **simples e elegante**
- Trabalho ainda **em andamento** para superá-lo
- Escalonamento energeticamente eficiente é uma **área de pesquisa** inaugurada há **meses**

Dificuldades

Técnicas

- Simuladores **muito novos** e **pouco testados**
- Dificuldades para **estender as funcionalidades** para as necessidades do TCC

Conceituais

- O HEFT é um algoritmo **simples e elegante**
- Trabalho ainda **em andamento** para superá-lo
- Escalonamento energeticamente eficiente é uma **área de pesquisa** inaugurada há **meses**

Este TCC

- Fez um **estudo** de diversas técnicas de **escalonamento** e **simulação** em computação em nuvem
- Implementou com a ajuda da mestranda Elaine Watanabe um **algoritmo novo** para resolver o problema do escalonamento energeticamente eficiente
- Contribuiu com projetos de **software livre**

Este TCC

- Fez um **estudo** de diversas técnicas de **escalonamento** e **simulação** em computação em nuvem
- Implementou com a ajuda da mestranda Elaine Watanabe um **algoritmo novo** para resolver o problema do escalonamento energeticamente eficiente
- Contribuiu com projetos de **software livre**

Este TCC

- Fez um **estudo** de diversas técnicas de **escalonamento** e **simulação** em computação em nuvem
- Implementou com a ajuda da mestranda Elaine Watanabe um **algoritmo novo** para resolver o problema do escalonamento energeticamente eficiente
- Contribuiu com projetos de **software livre**

Bibliografia


D.A. Patterson e J.L. Hennessy. *Computer Organization and Design: The Hardware/software Interface*. Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics. Morgan Kaufmann, 2012.


L.A. Barroso e U. Hölzle. The case for energy-proportional computing. *Computer*, 40(12):33–37, 2007.


Tom Guérout, Thierry Monteil, Georges Da Costa, Rodrigo Neves Calheiros, Rajkumar Buyya e Mihai Alexandru. Energy-aware simulation with dvfs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v.39, i.1, p.76-91, 2013.


H. Topcuoglu, S. Hariri e Min-You Wu. Performance-effective and low-complexity task scheduling for heterogeneous computing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 13(3):260–274, 2002.

Bibliografia


D.A. Patterson e J.L. Hennessy. *Computer Organization and Design: The Hardware/software Interface*. Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics. Morgan Kaufmann, 2012.


L.A. Barroso e U. Hölzle. The case for energy-proportional computing. *Computer*, 40(12):33–37, 2007.


Tom Guérout, Thierry Monteil, Georges Da Costa, Rodrigo Neves Calheiros, Rajkumar Buyya e Mihai Alexandru. Energy-aware simulation with dvfs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v.39, i.1, p.76-91, 2013.


H. Topcuoglu, S. Hariri e Min-You Wu. Performance-effective and low-complexity task scheduling for heterogeneous computing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 13(3):260–274, 2002.

Bibliografia


D.A. Patterson e J.L. Hennessy. *Computer Organization and Design: The Hardware/software Interface*. Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics. Morgan Kaufmann, 2012.


L.A. Barroso e U. Hölzle. The case for energy-proportional computing. *Computer*, 40(12):33–37, 2007.


Tom Guérout, Thierry Monteil, Georges Da Costa, Rodrigo Neves Calheiros, Rajkumar Buyya e Mihai Alexandru. Energy-aware simulation with dvfs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v.39, i.1, p.76-91, 2013.


H. Topcuoglu, S. Hariri e Min-You Wu. Performance-effective and low-complexity task scheduling for heterogeneous computing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 13(3):260–274, 2002.

Bibliografia


D.A. Patterson e J.L. Hennessy. *Computer Organization and Design: The Hardware/software Interface*. Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics. Morgan Kaufmann, 2012.


L.A. Barroso e U. Hölzle. The case for energy-proportional computing. *Computer*, 40(12):33–37, 2007.


Tom Guérout, Thierry Monteil, Georges Da Costa, Rodrigo Neves Calheiros, Rajkumar Buyya e Mihai Alexandru. Energy-aware simulation with dvfs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v.39, i.1, p.76-91, 2013.


H. Topcuoglu, S. Hariri e Min-You Wu. Performance-effective and low-complexity task scheduling for heterogeneous computing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 13(3):260–274, 2002.

Obrigado!

Perguntas?

Um Algoritmo de Escalonamento para Redução do Consumo de Energia em Computação em Nuvem

Pedro Paulo Vezzá Campos
Orientador: Prof. Dr. Daniel Macêdo Batista

MAC0499 – Trabalho de Formatura Supervisionado
Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
[pedrovc,batista]@ime.usp.br

8 de novembro de 2013