

## 6 Escalabilidade

Na introdução desta dissertação, entre os objetivos citados, foi falado de flexibilidade e escalabilidade. Este modelo é fundamentalmente linear<sup>1</sup> e relativamente simples. Estas características permitem que ele seja resolvido em larga escala com bastante eficiência pelos resolvidores de programação linear modernos.

Neste capítulo são feitos alguns testes com instâncias grandes geradas automaticamente para testar a escalabilidade do modelo.

Segue o esquema dos testes:

- Foram geradas aleatoriamente 5 instâncias diferentes para cada rodada de teste, e foi tirada uma média dos tempos de execução da rodada.
- Foi contado o tempo total de execução incluindo o carregamento e montagem do modelo.
- Foi usado um PC Athlon 1 GHz com 256 Mb de memória, rodando Linux.
- O resolvidor de programação linear usado foi o **GLPK**<sup>2</sup>, um resolvidor gratuito consideravelmente mais simples e menos eficiente que resolvidores comerciais como o **CPLEX** [14] ou **XPRESS**.

Vale ressaltar que o objetivo real destes testes é de fazer medições de tempos absolutas, sem se preocupar com complexidade da implementação. O programa como um todo gasta quase todo o seu tempo resolvendo o modelo (os tempos de leitura e montagem do modelo são desprezíveis). O fato do modelo ser linear indica que ele pode ser resolvido em tempo polinomial.

---

<sup>1</sup>À exceção do caso especial com múltiplos produtos indivisíveis e restrição de acoplamento.

<sup>2</sup>Gnu Linear Programming Kit - <http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html>

E, finalmente, não foram feitos testes com restrições de acoplamento e produtos indivisíveis, uma vez que não foram elaborados métodos eficientes para sua resolução.

TESTE 1: *Variação do número de participantes no jogo básico* - As variações no número de participantes deste teste foram feitas simultaneamente em produtores e consumidores. Esta variação proporciona um aumento quadrático no número de variáveis  $x_{ij}$ .

A Tabela 6.1 apresenta os resultados do TESTE 1. As colunas *Produtores* e *Consumidores* contêm o número de participantes de cada tipo nos testes. A coluna *Tempo* apresenta o tempo total de execução do programa em segundos.

Produtores	Consumidores	Tempo (s)
10	10	0.010
20	20	0.020
50	50	0.280
100	100	1.450
150	150	3.819
200	200	8.013
250	250	14.977
300	300	27.245
400	400	63.659
500	500	114.092
600	600	229.175

Tabela 6.1: Resultado do TESTE 1.

O que pode ser percebido por estes resultados é um crescimento aproximadamente cúbico do tempo em relação ao aumento de participantes. A Figura 6.1 apresenta o gráfico deste crescimento.

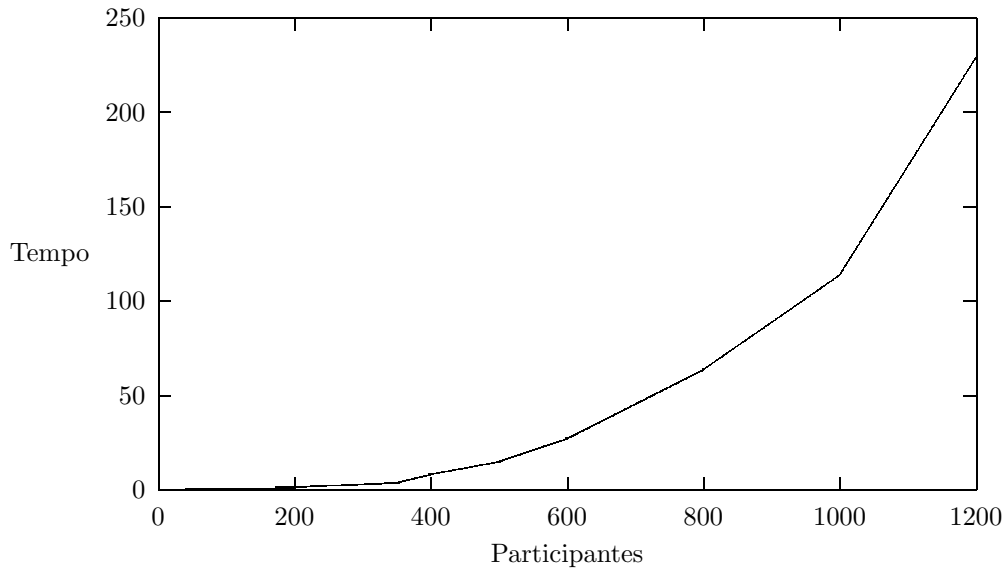


Figura 6.1: Gráfico Tempo x Participantes para o TESTE 1.

TESTE 2: *Número de participantes em jogo com custo de transporte* - Este teste repete o anterior adicionando o custo de transporte. O objetivo é verificar se ocorre algum aumento nos tempos para a resolução do problema.

Produtores	Consumidores	Tempo (s)
10	10	0.010
20	20	0.020
50	50	0.126
100	100	1.089
150	150	3.573
200	200	7.428
250	250	15.099
300	300	25.071
400	400	56.359
500	500	118.586
600	600	206.308

Tabela 6.2: Resultado do TESTE 2.

Como pode ser visto na Tabela 6.2 não houve qualquer aumento nos tempos de execução. Pelo contrário, houve uma pequena redução nos tempos. Isso pode ser devido a particularidade das instâncias testadas, ou porque os custos de transporte limitam um pouco mais a solução, tornando mais fácil sua resolução.

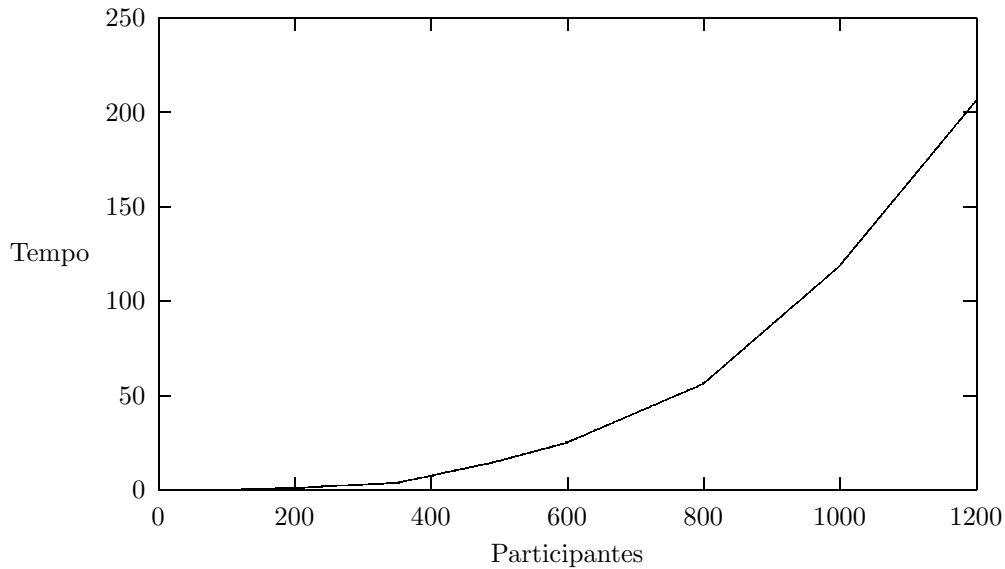


Figura 6.2: Gráfico Tempo x Participantes para o TESTE 2.

TESTE 3: *Número de participantes em jogo com economia de escala* - Este teste repete o padrão dos anteriores adicionando economia de escala na oferta do consumidor. Mais um vez o objetivo é verificar como o tempo para a resolução do modelo aumenta com o número de participantes.

Produtores	Consumidores	Tempo (s)
10	10	0.010
20	20	0.026
50	50	0.290
100	100	2.798
150	150	9.052
200	200	22.754
250	250	40.760
300	300	71.600
400	400	211.682
500	500	363.843

Tabela 6.3: Resultado do TESTE 3.

Para este teste houve um aumento razoável nos tempos de resolução (que foram praticamente triplicados). A inserção da economia de escala aumenta o número de restrições na proporção das faixas de preço inseridas. Para este teste as faixas de preço foram fixadas em 3 por consumidor. Este aumento do número de restrições foi o responsável pelo aumento do tempo final de resolução. A Figura 6.3 apresenta o gráfico para estes dados.

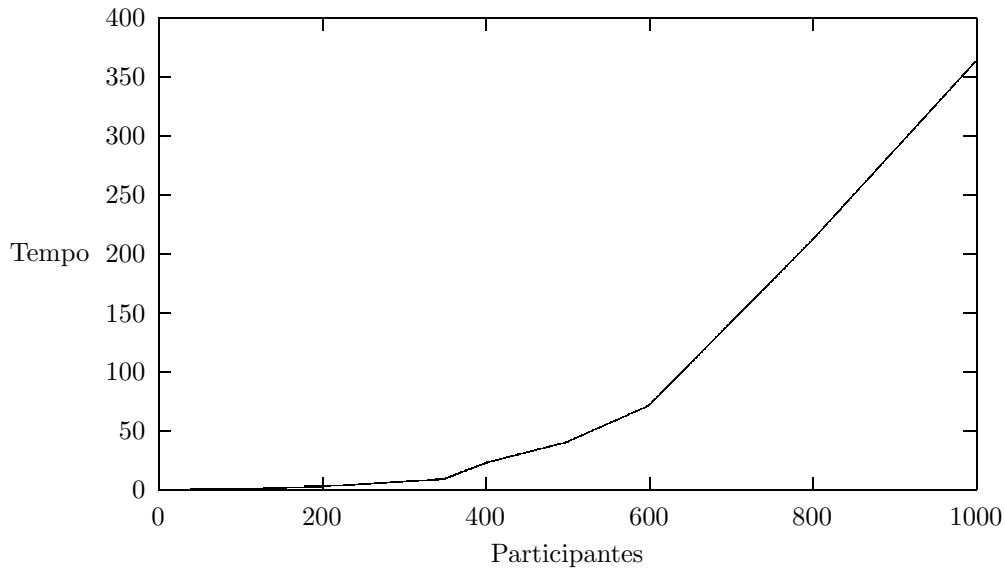


Figura 6.3: Gráfico Tempo x Participantes para o TESTE 3.

TESTE 4: *Número de produtos em jogo com múltiplos produtos* - Para este teste, foi fixado o número de produtores e consumidores ( $100 \times 100$ ) e foi variado o número de produtos no mercado. O objetivo é verificar a variação do tempo de execução com o número de produtos.

Produtores	Consumidores	Produtos	Tempo (s)
100	100	1	1.027
100	100	2	3.204
100	100	3	6.072
100	100	4	10.142
100	100	5	14.320
100	100	6	21.076
100	100	7	26.712
100	100	8	34.822
100	100	9	42.595
100	100	10	49.993

Tabela 6.4: Resultado do TESTE 4.

Pode ser verificado para este teste um aumento de tempo maior que linear e menor que quadrático em relação ao número de produtos. Embora haja aumento linear de variáveis e restrições, o que sugeriria um aumento linear do tempo, isto não aconteceu. Porém, este fato é dependente da implementação do resolvidor linear. O mais importante é notar que adicionar produtos ao mercado não causa grande impacto no tempo de resolução (o que já era esperado).

A Figura 6.4 apresenta o gráfico dos resultados do TESTE 4.

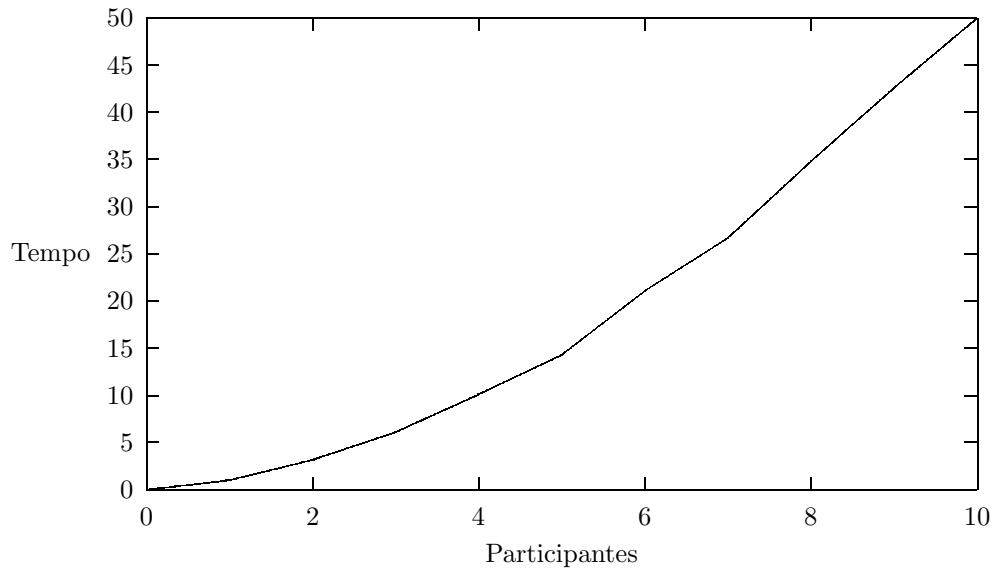


Figura 6.4: Gráfico Tempo x Produtos para o TESTE 4.

Os resultados dos testes comprovam a escalabilidade do modelo. Mesmo utilizando uma plataforma de baixo custo (PC, sistema operacional gratuito, resolvidor linear gratuito), foi possível resolver instâncias com centenas de participantes e com múltiplos produtos em questão de minutos.