

7. Resultados e Avaliações do Índice de Desempenho

Este capítulo tem por objetivo apresentar os resultados obtidos através da simulação, com base em um modelo de redes de filas, do índice de desempenho proposto neste trabalho.

7.1 Considerações Iniciais

O escalonamento de processos, fazendo uso de diferentes índices de carga, altera o desempenho de aplicações executadas em plataforma computacional distribuída homogênea/heterogênea, tanto positiva quanto negativamente. Considerando o programa de simulação desenvolvido e o novo índice de desempenho proposto, faz-se necessário avaliar o desempenho obtido por diferentes aplicações escalonadas quando alterados os índices de carga.

Objetiva-se com este capítulo demonstrar, não somente que é possível a obtenção de ganhos de desempenho com a utilização correta de índices de carga, mas também quando e como esses índices devem ser aplicados visando a bons resultados.

As avaliações expostas neste capítulo demonstram o comportamento de aplicações uniformemente distribuídas entre disco, rede, CPU e memória, conforme a variação do índice de carga utilizado para que o escalonamento seja executado.

Para a realização dos testes utilizou-se o programa de simulação descrito no capítulo anterior. Os resultados obtidos são apresentados e analisados estatisticamente.

7.2 Experimentos Realizados

Uma vez que o número de fatores envolvidos na avaliação de desempenho é consideravelmente alto, houve a necessidade estabelecer experimentos que contemplassem alguns objetivos. Nesses experimentos, verificou-se o desempenho das aplicações quando o escalonamento utiliza a política *round-robin* (que não leva em conta nenhum índice de carga para distribuir as tarefas aos processadores),

quando se adotam os índices de carga tradicionalmente utilizados, bem como o índice de desempenho proposto nesta tese.

Considerando que a avaliação a ser feita é dos índices de carga e do índice de desempenho e que o intuito é validar e testar a eficiência desses índices, optou-se por efetuar os experimentos submetendo ao programa de simulação cinco tipos de aplicações distintas: CPU-Bound, Disk-Bound, Network-Bound, e duas aplicações mistas. A escolha por essas classes de aplicações permite que o desempenho obtido com o escalonamento seja avaliado em função da aplicação que o utiliza e a determinação da influência do índice de carga, de acordo com o tipo de aplicação que é submetido ao sistema.

As aplicações constituem os parâmetros de entrada do modelo e apresentam-se sob a forma de porcentagem para os recursos CPU, disco e rede e sob a forma de quantidade para o recurso memória, tendo sido adotado o padrão CPU%/disk%/net%/qtd_mem. A soma dos valores destinados ao processador, ao disco e à rede devem somar 100, o que equivale à aplicação como um todo.

Desse modo, as cinco aplicações submetidas ao sistema são apresentadas a seguir:

1. Aplicação CPU-Bound: 100/0/0/10;
2. Aplicação Disk-Bound: 10/90/0/10;
3. Aplicação Network-Bound: 10/0/90/10;
4. Aplicação Mista 1: 50/30/20/10;
5. Aplicação Mista 2: 50/30/20/100.

As simulações realizadas e apresentadas são divididas em três grupos:

1. Simulação de um conjunto de máquinas homogêneas;
2. Simulação de um conjunto de máquinas parcialmente heterogêneas; e
3. Simulação de um conjunto de máquinas heterogêneas.

Nos três experimentos realizados o número de máquinas foi idêntico e igual a 10; o número de aplicações submetidas foi igual a 5.000 aplicações idênticas.

As tabelas que seguem apresentam os tempos de serviço (em unidades de tempo) dos recursos utilizados nos três experimentos realizados, bem como as quantidades de memória (unidade de capacidade de memória).

Tabela 7.1 – Configuração dos recursos considerando conjunto de máquinas homogêneas

Máquinas	Processador	Disco	Rede	Memória
1	0,3	7,84	25,6	256
2	0,3	7,84	25,6	256
3	0,3	7,84	25,6	256
4	0,3	7,84	25,6	256
5	0,3	7,84	25,6	256
6	0,3	7,84	25,6	256
7	0,3	7,84	25,6	256
8	0,3	7,84	25,6	256
9	0,3	7,84	25,6	256
10	0,3	7,84	25,6	256

Tabela 7.2 – Configuração dos recursos quando considerado conjunto de máquinas parcialmente heterogêneas

Máquinas	Processador	Disco	Rede	Memória
1	0,3	7,84	25,6	256
2	0,3	7,84	25,6	256
3	0,3	7,84	25,6	256
4	0,3	7,84	25,6	256
5	0,3	7,84	25,6	256
6	0,6	15,68	51,2	128
7	0,6	15,68	51,2	128
8	0,6	15,68	51,2	128
9	0,6	15,68	51,2	128
10	0,6	15,68	51,2	128

Tabela 7.3 – Configuração dos recursos quando considerado conjunto de máquinas heterogêneas

Máquinas	Processador	Disco	Rede	Memória
1	0,12	5,32	12,5	512
2	0,3	7,84	25,6	256
3	0,42	20,41	25,6	64
4	0,3	7,84	12,5	256
5	0,35	7	12,5	256
6	0,45	20,24	25,6	128
7	0,38	20,24	12,5	128
8	0,3	20,24	25,6	256
9	0,37	7,84	25,6	128
10	0,59	20,24	51,2	32

Os índices de carga adotados foram os que são tradicionalmente citados na literatura como sendo os mais utilizados: índice de carga de CPU, de disco, de rede e de memória, adicionando a esses o índice de desempenho proposto nesta tese.

Para todos os experimentos realizados foi utilizada uma função de Poisson para a distribuição de probabilidade de chegada de processos no sistema. Essa função é adotada pelos principais trabalhos na área, uma vez que reflete a ocupação do sistema em situações em que um evento de chegada não tem ligação com outro (Ferrari & Zhou, 1987; Theimer & Lantz, 1989; Shivaratri et. al., 1992). Após a chegada de um processo, o recurso escalonador (fazendo uso de uma política de informação) define, baseado na tabela de índices de carga, qual o processador que deve receber e executar tal aplicação.

Como tempo de atualização da tabela utilizou-se o valor de 0,07 (unidades de tempo), pois demonstrou, através de vários estudos realizados ser um bom intervalo de tempo, garantindo, não somente que os valores obtidos não fossem obsoletos, mas também impondo uma sobrecarga razoável ao sistema.

7.2.1 Parâmetros Variáveis

Vários são os parâmetros que podem ser alterados no programa de simulação proposto neste trabalho. Dentre eles destacam-se:

- Tempo de serviço dos recursos¹³: o tempo de serviço é dado segundo uma distribuição de serviço. Neste trabalho a distribuição adotada é a distribuição exponencial. Esse inverso do tempo de serviço é a capacidade do servidor, que determina o quão rápido o servidor realiza um serviço.
- Tempo gasto para atualização dos índices: é o tempo gasto para atualização dos índices de carga. Para cada índice pode-se especificar um tempo diferente para sua atualização, o que passa a ser um

¹³ Os tempos de serviço podem ser alterados conforme desejo do usuário; entretanto, as proporções relativas a cada recurso específico com relação aos demais devem ser obedecidas.

indicativo da sobrecarga imposta pelo índice, dependendo da complexidade envolvida em seu cálculo.

- Taxa de chegada das aplicações: a taxa de chegada das aplicações obedece à distribuição de Poisson, pois reflete a independência entre os eventos de chegada.
- Tipos de aplicações submetidas: as aplicações constituem os clientes que são atendidos pelo modelo. Elas são constituídas por fatores que determinam a porcentagem de utilização dos recursos por elas utilizadas e por um fator que determina a quantidade de memória consumida por ela. As porcentagens de processamento, disco e rede utilizadas devem necessariamente somar 100% da aplicação. A quantidade de memória é definida independentemente desses outros fatores.
- Tipos de índices de carga utilizados: os índices de carga podem ser definidos e expressos de acordo com as definições do usuário e conforme a necessidade deste.
- Taxa de atualização da tabela de índices: pode variar conforme o desejo do usuário. Para que valores satisfatórios sejam obtidos esse valor deve variar conforme os objetivos do escalonamento.
- Quantidade de memória: a quantidade de memória de cada recurso pode ser definida conforme a necessidade de cada usuário e conforme a configuração da máquina analisada.
- Quantidade de máquinas: a quantidade de máquinas pode ser alterada de maneira fácil, tanto para cima quanto para baixo, sem que o usuário tenha que efetuar mudanças drásticas no programa.
- Quantum: o quantum de cada máquina pode ser modificado para refletir as características das máquinas.

7.3 Planejamento dos Experimentos e Análise Estatística

Pode-se definir Estatística como a Matemática aplicada aos dados de observação. Mas tais dados são, em vários casos, obtidos por meio de trabalhos feitos propositalmente e em condições previamente determinadas, isto é,

especificadas. Nesse caso, têm-se os dados experimentais obtidos por meio de experimentos. O que dificulta o trabalho do experimentador e exige a análise estatística é a presença, em todos os dados obtidos, de efeitos de fatores não controlados (que podem ser controláveis ou não). Esses efeitos sempre presentes, não podem ser conhecidos individualmente e alteram pouco ou muito, os resultados. Eles são indicados pela variação do acaso ou variação aleatória.

O efeito dessa variação do acaso é tal que pode alterar completamente os resultados do experimento.

Desse modo, é tarefa do experimentador verificar se as diferenças observadas num experimento têm ou não têm valor, isto é, se são ou não significativas.

Dentre os objetivos que se destacam pela utilização das técnicas estatísticas de planejamento experimental estão: a redução do número de ensaios sem prejuízo da qualidade de informação; o estudo simultâneo de diversas variáveis separando seus efeitos; a determinação da confiabilidade dos resultados; a realização da pesquisa em etapas num processo com número reduzido de ensaios; a representação do processo estudado através de expressões matemáticas; e a elaboração de conclusões a partir de resultados quantitativos e qualitativos (Barros Neto, 1995).

O projeto de experimentos proporciona uma redução do tempo de desenvolvimento garantindo um maior detalhamento de informação. Este detalhamento envolve muitos fatores tais como determinar quais variáveis são mais influentes nos resultados, atribuir valores às variáveis influentes de modo a otimizar os resultados, minimizar a variabilidade dos resultados e minimizar a influência de variáveis incontroláveis.

Segundo (Montgomery, 1991), antes de se iniciar a experimentação, é importante estabelecer o planejamento dos testes. Estes testes devem ser cuidadosamente monitorados, uma vez que erros no procedimento experimental provavelmente invalidarão os resultados obtidos com esse experimento.

Vale ressaltar que para qualquer planejamento, é necessário que o pesquisador conheça com profundidade o problema (sistema ou processo) que deseja estudar (Barros Neto, 1995).

Como os recursos são limitados, é muito importante obter o máximo de informações para cada experimento que é executado. Um bom projeto de experimentos pode produzir significativamente mais informações e freqüentemente requer menor número de testes que experimentos feitos ao acaso ou não planejados (Meyers & Montgomery, 1995). Além disso, um bom projeto de experimento assegurará que se pode avaliar os efeitos que foram identificados como sendo importantes.

Algumas técnicas de Planejamento de Experimentos freqüentemente utilizadas são:

- Fatorial, que permite o estudo simultâneo dos efeitos que vários fatores podem ter no processo e de suas interações, podendo ser completo (*Full*) ou fracionado;
- Superfície de resposta, que é usado para examinar o relacionamento entre uma ou mais variáveis de resposta e fixar as variáveis ou fatores experimentais quantitativos;
- Taguchi, que é um método criado para projeto de produto ou de processo que foca a minimização da variação e/ou sensibilidade aos ruídos; e
- mistura, que é uma classe especial de experimento do tipo “Superfície de Resposta”, no qual o produto sob investigação é composto de vários componentes ou ingredientes.

Dentre essas diversas técnicas, a técnica de planejamento fatorial fracionado 2^{k-p} tem grande potencial de aplicação em problemas onde o número de fatores é consideravelmente alto, permitindo a execução de uma menor quantidade de experimentos. Com essa técnica é possível analisar também os efeitos sobre uma resposta de interesse, de k fatores com dois níveis cada um, em 2^{k-p} combinações de teste. Isso significa que com essa técnica, somente parte do experimento é realizada (metade, para $p=1$, ou $1/4$ para $p=2$), sem que a precisão das conclusões decorrentes da análise de resultados seja comprometida significativamente. Com isso, tem-se tanto o tempo quanto o custo dos testes significativamente reduzidos (Jain, 1991).

Na análise dos resultados dos experimentos, busca-se identificar o efeito produzido na resposta quando da variação dos níveis dos fatores de controle do experimento. Os efeitos são classificados como:

- Principal, que representa a variação média da resposta resultante da mudança de nível de um fator, mantendo-se os outros fatores fixos;
- Interação, quando a variação da resposta é decorrente da mudança combinada dos níveis de dois ou mais fatores.

Para a análise dos resultados, gráficos lineares podem ser utilizados para representar e analisar os efeitos principais e os das interações dos fatores. Entretanto, para se analisar os resultados de uma maneira mais formal, técnicas estatísticas devem ser utilizadas (Jain, 1991), em especial, a Análise de Variância (ANOVA).

Com essa técnica, é possível avaliar, com confiança estatística, se os efeitos são significativamente diferentes de zero e com isso concluir quais os fatores que, de fato, quando alterados, interferem na resposta.

7.3.1 Análise de Variância (ANOVA)

Dois fatores são utilizados basicamente para análise do estudo efetuado nesta tese: o tipo de aplicação escalonada e o índice de carga utilizado para a distribuição da carga.

O intuito dessa análise é definir a relação existente entre esses dois fatores e qual o impacto causado pelo uso desses índices quando do escalonamento das várias aplicações submetidas.

Desse modo pode-se definir como **Hipótese 1** a ser validada: Qual a interação existente entre os fatores aplicação e índice de carga quando utilizados no escalonamento de processos?

Para a realização da análise de variância apresentada nesta seção foi utilizado o software MiniTab versão 14.12, fazendo uso da análise *TwoWay*, uma vez que dois são os fatores avaliados. Para que essa análise pudesse ser realizada foi avaliado se os dados obtidos encontravam-se dispostos segundo uma distribuição normal, e isso procede como pode ser visto no gráfico apresentado na figura 7.1.

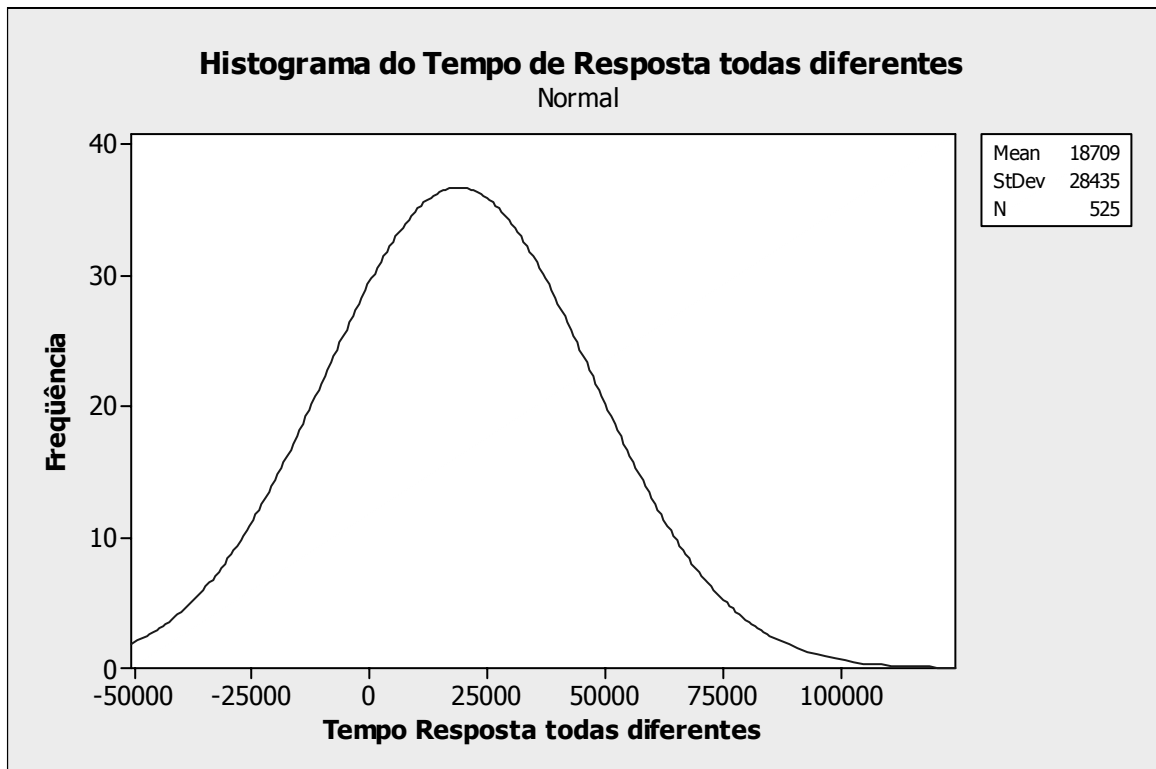


Figura 7.1 – Distribuição de probabilidade apresentada pelos valores (variação dos tempos de resposta) utilizados.

Outro dado relevante nesta análise está na replicação dos dados para que a análise pudesse levar em consideração o inter-relacionamento das variáveis analisadas, segundo a fórmula: $Y_{IA} = \mu + \alpha_I + \beta_A + (\alpha\beta)_{IA}$ onde μ é uma constante e α e β são os fatores correspondentes aos índices (I) e as aplicações (A) respectivamente, e $(\alpha\beta)_{IA}$ representa a relação entre os fatores.

7.4 Avaliação dos Resultados Obtidos

A obtenção dos resultados para análise do índice de desempenho proposto baseou-se em diversas execuções do modelo com a variação de diversos parâmetros, dentre eles os parâmetros referentes às aplicações. Para tornar os resultados representativos, execuções com 15 sementes diferentes foram utilizadas.

O código do programa de simulação desenvolvido para a realização destes testes utiliza as bibliotecas SMPL (MacDougall, 1987) e SMPLx (Ulson, 1999).

Para a realização dos testes para comprovação da eficiência do índice de desempenho foram efetuadas diversas execuções do modelo, com a utilização de diferentes índices de carga e diferentes tipos de aplicações a ele submetidas.

Os índices de carga avaliados são: índice de CPU, índice de disco, índice de rede, índice de memória, escalonamento round-robin e os índices de desempenho VIP e PVIP.

7.4.1 Resultados Obtidos

As tabelas 7.4 a 7.6 apresentam os resultados obtidos através da simulação do modelo de escalonamento de processos (os resultados apresentados representam a média de 15 execuções).

Tabela 7.4 – Tempos médios de resposta em uma configuração de máquinas homogêneas

	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2
CPU	160,22	3954,84	12513,84	2748,26	2805,80
Memória	1494,00	36316,92	115814,06	25736,37	25624,03
Disco	1494,00	3855,98	12850,12	2760,46	2750,96
Rede	1494,00	36316,92	12349,64	2714,88	2766,32
Round-Robin	161,20	3888,55	12507,25	2719,39	2765,67
VIP	159,46	3814,43	12274,80	2706,98	2738,84
PVIP	160,75	3851,15	12390,31	2713,73	2749,63

Tabela 7.5 – Tempos médios de resposta em uma configuração de máquinas parcialmente heterogênea

	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2
CPU	266,85	5979,42	19324,88	4300,02	4240,40
Memória	1491,29	36028,12	115295,15	25600,78	25628,81
Disco	1491,29	5963,20	25713,66	4189,64	4164,86
Rede	1491,29	36028,12	18915,62	4177,37	4210,51
Round-Robin	314,71	7654,29	24608,41	5391,05	5398,06
VIP	283,75	5924,79	18961,86	4172,30	4198,65
PVIP	281,54	5979,00	19066,81	4220,64	4207,71

Tabela 7.6 – Tempos de resposta em uma configuração de máquinas heterogênea

	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2
CPU	242,26	15332,33	49374,19	10800,79	10818,27
Memória	2089,56	94195,76	115300,03	32792,78	32872,06
Disco	2089,56	6595,93	53405,00	6894,56	6894,65
Rede	2089,56	94195,76	13401,36	3628,12	3680,20
Round-Robin	289,72	9751,98	22956,65	5238,52	5135,99
VIP	212,70	6625,70	13227,89	3598,37	3624,56
PVIP	220,83	6577,75	13285,48	3667,18	3693,19

Os resultados apresentados nas tabelas demonstram a viabilidade do uso do índice de desempenho proposto nesta tese de doutorado, uma vez que os tempos médios de resposta, quando do seu uso, nos três tipos de plataformas avaliados, é sempre melhor quando comparado aos índices tradicionais, excetuando-se os índices específicos para cada aplicação (a análise estatística é apresentada na seção 7.4.3).

A seguir são apresentados os gráficos (figuras 7.2 a 7.7), que facilitam a visualização do comportamento dos vários tipos de aplicações quando submetidas ao escalonamento fazendo uso de diversos índices de carga.

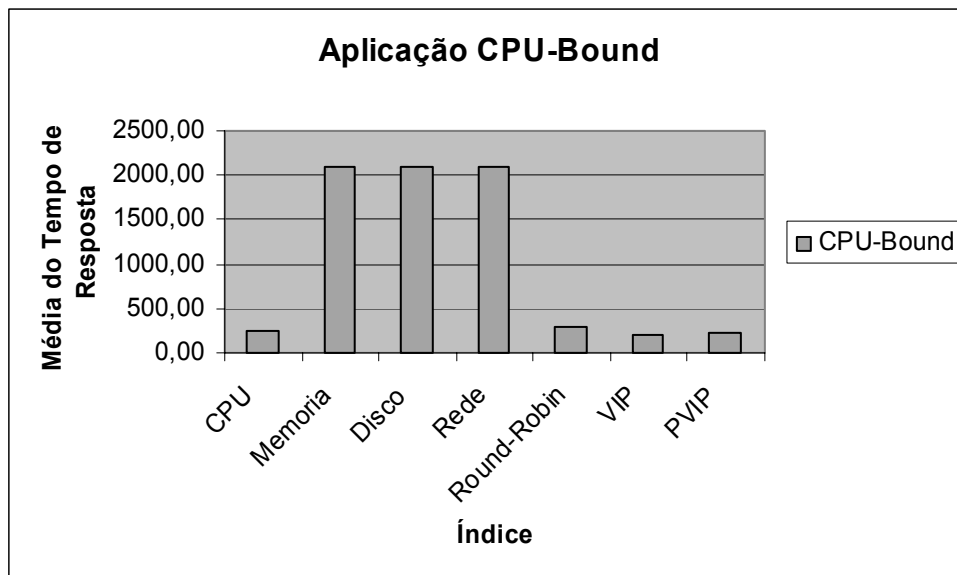


Figura 7.2 – Comportamento de uma aplicação CPU-Bound quando submetida a diferentes índices de carga tradicionais e aos índices propostos nesta tese

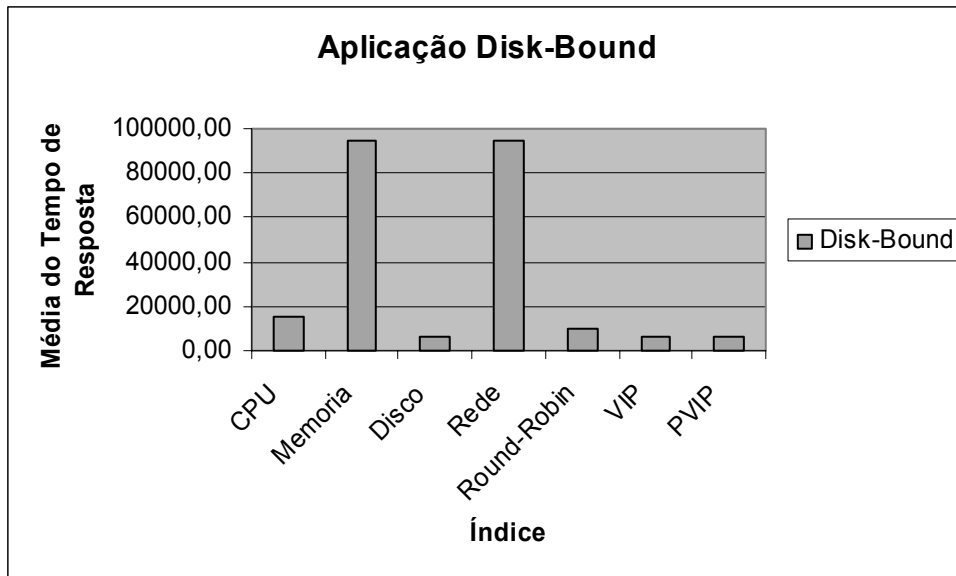


Figura 7.3 – Comportamento de uma aplicação Disk-Bound quando submetida a diferentes índices de carga tradicionais e aos índices propostos nesta tese

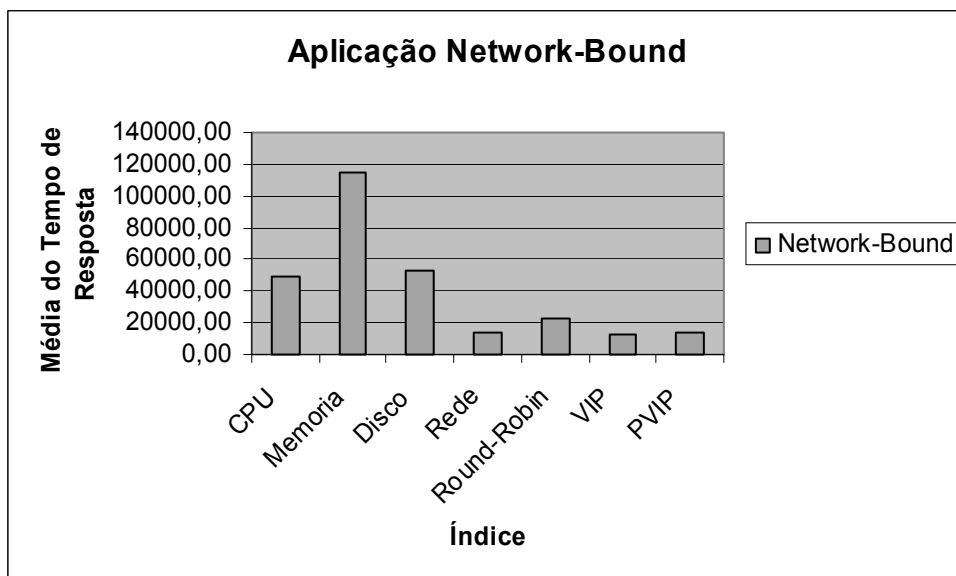


Figura 7.4 – Comportamento de uma aplicação Network-Bound quando submetida a diferentes índices de carga tradicionais e aos índices propostos nesta tese

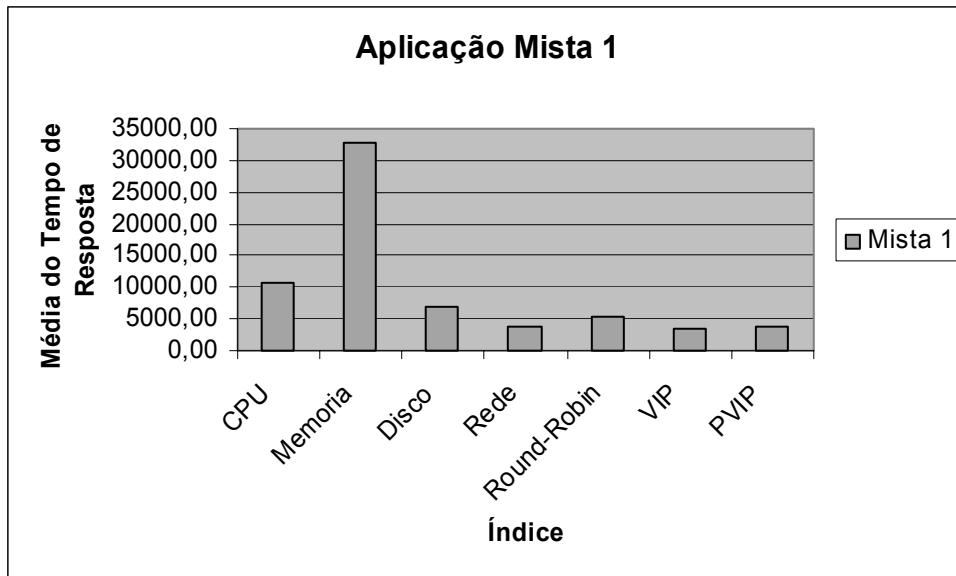


Figura 7.5 – Comportamento de uma aplicação Mista 1 quando submetida a diferentes índices de carga tradicionais e aos índices propostos nesta tese

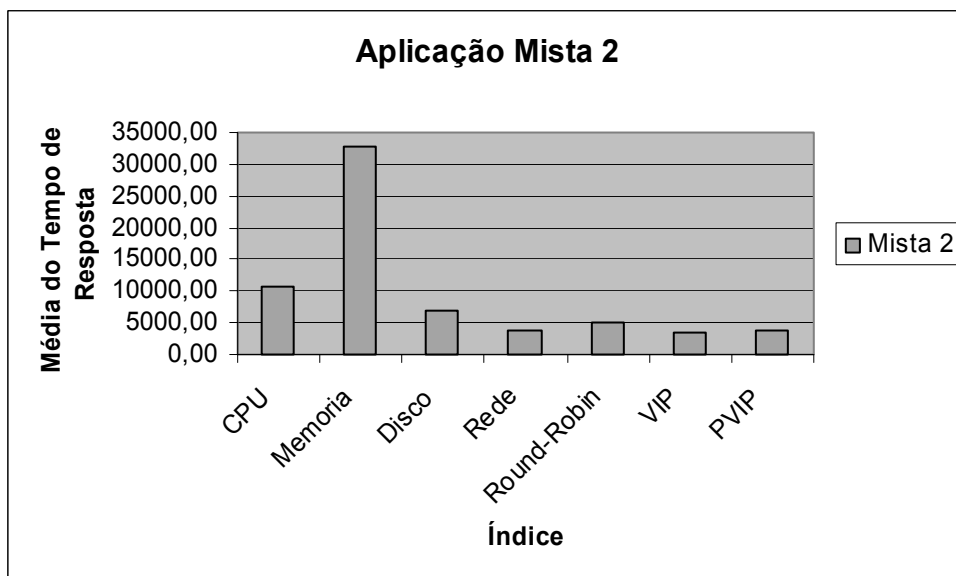


Figura 7.6 – Comportamento de uma aplicação Mista 2 quando submetida a diferentes índices de carga tradicionais e aos índices propostos nesta tese

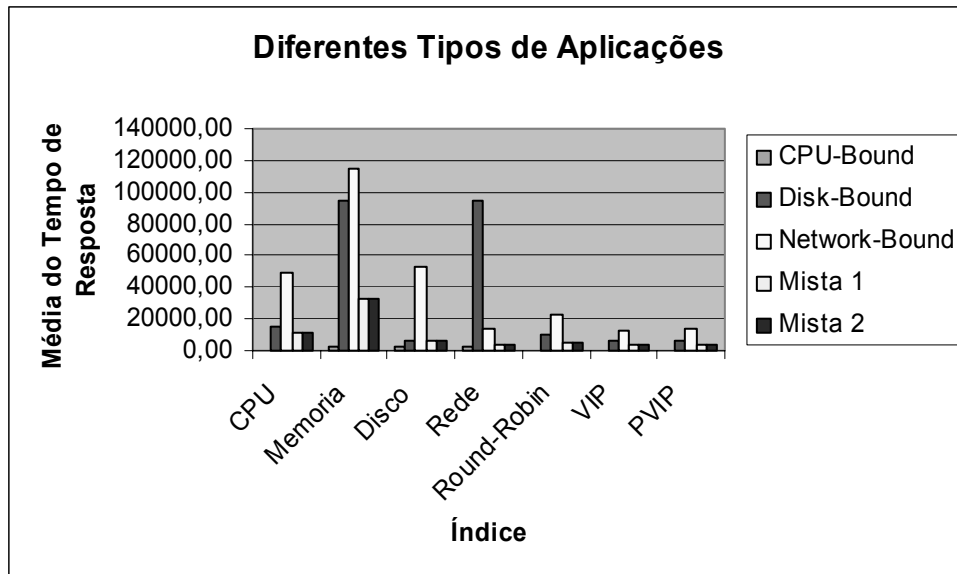


Figura 7.7 – Resumo do comportamento de diferentes tipos de aplicações quando submetida aos vários índices de carga tradicionais e aos índices propostos nesta tese

Pode-se notar, através da observação dos resultados apresentados nos gráficos, que em todos os casos o índice de desempenho fornece resultados melhores que os apresentados pelos outros índices individualmente, excetuando-se o índice particular apropriado para o tipo de aplicação. Entretanto, quando submetidas aplicações mistas, que exploram diversos recursos, o comportamento do índice desempenho é visivelmente melhor que os demais índices individuais.

Os resultados analisados e apresentados vêm também ao encontro dos resultados encontrados na literatura que indicam que os índices de carga genéricos, além de apresentarem uma tendência à sobrecarga maior, não devem apresentar a mesma qualidade de representação de carga de trabalho, quando comparados com os índices específicos utilizados corretamente (Mehra 1993; Ferari & Zhou, 1987). Entretanto, o índice de desempenho proposto, apesar de genérico, apresenta características flexíveis, o que o torna muito próximo muito dos índices específicos de cada aplicação, além de apresentar resultados muito bons quando submetido a aplicações mistas.

Os gráficos apresentados referem-se aos da configuração onde as máquinas são heterogêneas, entretanto, os resultados apresentados para essa configuração são extensíveis às demais configurações, e só não são aqui reproduzidos para não sobrecarregar o texto.

7.4.2 Análise Comparativa do VIP e PVIP

A proposta desta tese de doutorado é a de um novo índice de desempenho que seja capaz de fornecer uma imagem da capacidade de trabalho, ou melhor, ilustre claramente o que pode ser esperado, em termos de desempenho, do elemento em análise.

Desse modo, o índice de desempenho *Vector for Index of Performance* (VIP) proposto é bastante flexível e permite a inserção de pesos para que os valores obtidos com relação a cada índice específico possam ser ponderados com relação ao tipo da aplicação submetida ao sistema. Uma vez que se conheça a priori a aplicação que será escalonada, a flexibilidade do VIP permite que esse seja estendido para *Ponderated Vector for Index of Performance* (PVIP) que permite uma melhor ponderação entre os valores dos índices que serão utilizados para efetuar a alocação das aplicações que chegam ao sistema.

Devido a essa flexibilidade, os testes efetuados com o programa de simulação, levaram em consideração não somente o índice de desempenho, mas também o índice quando ponderações são aplicadas.

As análises estatísticas apresentadas na seção 7.4.3 demonstram que nos experimentos realizados não existe diferença estatisticamente significativa entre as variações apresentadas. Entretanto, acredita-se que através de novos experimentos, fazendo uso de técnicas tais como *Lógica Fuzzy*, entre outras, podem-se conseguir valores apropriados para os pesos, de modo que a variação do índice de desempenho, o PVIP, apresente melhores resultados.

Mais especificamente, nos testes realizados a diferença significativa entre ambas variações é inexistente. Pela lógica o PVIP deveria ser melhor do que o VIP, uma vez que leva em consideração as ponderações quanto às características específicas de cada aplicação; entretanto, nos testes com o programa de simulação, a memória é um recurso dado em termos de quantidade (enquanto que os demais recursos são dados em termos de porcentagem), não sendo possível saber qual a porcentagem da aplicação que consome memória, tendo seu valor final prejudicado.

7.4.3 Análise Estatística Efetuada com os Resultados Obtidos

O objetivo da análise estatística, teste de hipótese, é verificar se as variações de desempenho observadas com a submissão de diferentes aplicações ao modelo de escalonamento, com diferentes índices de carga são estatisticamente significativas (Achcar & Rodrigues 1995).

Para um nível de significância (α) igual a 0.01 (probabilidade de estar correto 99% das vezes que a análise estatística for feita), rejeita-se a hipótese nulidade quando Z ultrapassar o limite fornecido por $Z_{0,01}$, o qual é 2.57. O valor de $Z_{0,01} = 2.57$ é fornecido pela Tabela de Distribuição Normalizada (Achcar & Rodrigues 1995). Rejeita-se a hipótese nulidade H_0 caso $Z \leq -2.57$, ou então, $Z \geq 2.57$.

A métrica utilizada nas avaliações é a redução do tempo de execução da aplicação. Cada valor expresso nos gráficos e tabelas desta seção representa a média de várias execuções.

As tabelas de 7.7 a 7.21 demonstram quando as diferenças entre os tempos de resposta das diferentes aplicações quando escalonadas com diferentes índices de carga são consideradas estatisticamente significativas.

As tabelas 7.7 a 7.11 representam os valores para uma configuração de máquinas totalmente homogêneas, enquanto que as tabelas 7.12 a 7.16 apresentam os valores para configurações parcialmente heterogêneas e as tabelas 7.17 a 7.21 apresentam os valores para configurações totalmente heterogêneas.

Todas as diferenças significativas apresentadas nas tabelas que seguem correspondem às comparações efetuadas entre todos os índices com relação ao índice de desempenho VIP.

Tabela 7.7 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação CPU-Bound com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma homogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	160,217	1493,996	1493,996	1493,996	159,458	160,754	161,202
Desvio Padrão	2,868	18,192	18,192	18,192	3,465	4,072	3,505
Variância	8,225	330,949	330,949	330,949	12,007	16,578	12,286
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-0,654	-279,098	-279,098	-279,098		-0,939	-1,370
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	0,417	-276,987	-276,987	-276,987		0,939	-0,322

Tabela 7.8 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Disk-Bound com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma homogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	3954,842	36316,920	3855,984	36316,920	3814,429	3851,150	3888,548
Desvio Padrão	85,741	396,334	75,357	396,334	67,476	69,623	77,746
Variância	7351,495	157081,012	5678,670	157081,012	4553,023	4847,367	6044,421
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-4,984	-313,109	-1,591	-313,109		-1,467	-2,789
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-3,636	-312,471	-0,182	-312,471		1,467	-1,388

Tabela 7.9 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Network-Bound com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma homogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	12513,840	115814,056	12850,122	12349,644	12274,797	12390,305	12507,252
Desvio Padrão	344,749	1440,830	433,919	383,434	260,847	309,790	368,398
Variância	118852,205	2075991,229	188285,361	147021,842	68041,082	95969,977	135717,322
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-2,142	-273,864	-4,401	-0,625		-1,105	-1,994
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-1,032	-271,794	-3,340	0,319		1,105	-0,941

Tabela 7.10 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Mista 1 com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma homogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	2748,262	25736,371	2760,464	2714,880	2706,981	2713,726	2719,387
Desvio Padrão	49,930	399,585	71,373	77,439	71,975	56,961	59,134
Variância	2493,034	159668,172	5094,055	5996,776	5180,404	3244,588	3496,832
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-1,825	-219,677	-2,044	-0,289		-0,285	-0,516
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-1,766	-220,914	-1,982	-0,046		0,285	-0,267

Tabela 7.11 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Mista 2 com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma homogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	2805,796	25624,033	2750,961	2766,316	2738,838	2749,633	2765,669
Desvio Padrão	87,925	329,230	68,001	78,353	69,988	51,357	69,988
Variância	7730,862	108392,109	4624,086	6139,216	4898,344	2637,519	9468,110
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-2,308	-263,332	-0,481	-1,013		-0,482	-1,050
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-2,136	-265,874	-0,060	-0,690		0,482	-0,715

Tomando como base os valores apresentados nas tabelas pode-se observar que para uma plataforma homogênea, não existe diferença significativa entre a utilização dos índices de carga de CPU, PVIP e a utilização do escalonamento round-robin para aplicações CPU. Já para aplicações Disk-Bound os índices que não apresentam diferenças significativas correspondem aos índices de disco, PVIP e ao escalonamento round-robin. Por outro lado, para aplicações do tipo Network-Bound os índices correspondem ao de CPU, rede, PVIP e escalonamento round-robin. Em aplicações do tipo mista 1 e mista 2 os índices correspondem aos de CPU, disco, rede, PVIP e escalonamento round-robin. Em todos os casos onde ocorrem diferenças significativas, estas se apresentam a favor do índice de desempenho proposto no caso de plataforma homogênea.

Tabela 7.12 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação CPU-Bound com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma parcialmente heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	266,854	1491,288	1491,288	1491,288	283,745	281,535	314,709
Desvio Padrão	6,496	20,550	20,550	20,550	9,634	7,666	9,245
Variância	42,200	422,313	422,313	422,313	92,817	58,772	85,466
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	5,630	-206,058	-206,058	-206,058		0,695	-8,981
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	5,659	-213,615	-213,615	-213,615		-0,695	-10,698

Tabela 7.13 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Disk-Bound com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma parcialmente heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	5979,419	36028,117	5963,201	36028,117	5924,793	5978,996	7654,290
Desvio Padrão	163,497	535,505	160,627	535,505	124,973	111,992	221,983
Variância	26731,116	286765,112	25801,016	286765,112	15618,144	12542,254	49276,564
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-1,028	-212,022	-0,731	-212,022		-1,251	-26,294
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-0,008	-212,725	0,312	-212,725		1,251	-26,096

Tabela 7.14 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Network-Bound com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma parcialmente heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	19324,882	115295,145	25713,657	18915,618	18961,858	19066,813	24608,412
Desvio Padrão	552,128	1549,102	2984,251	340,389	485,889	465,362	857,447
Variância	304845,236	2399717,807	8905756,69	115864,425	236087,98	216561,42	735215,786
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-1,912	-229,808	-8,649	0,302		-0,604	-22,190
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-1,384	-230,413	-8,523	1,016		0,604	-22,000

Tabela 7.15 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Mista 1 com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma parcialmente heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	4300,022	25600,782	4189,637	4177,367	4172,299	4220,636	5391,053
Desvio Padrão	86,447	350,797	108,451	103,547	96,756	145,252	123,600
Variância	7473,056	123058,417	11761,682	10722,023	9361,818	21098,096	15276,875
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-3,813	-228,066	-0,462	-0,139		-1,073	-30,071
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-1,819	-218,092	0,662	0,939		1,073	-23,768

Tabela 7.16 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Mista 2 com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma parcialmente heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	4240,401	25628,814	4164,859	4210,511	4198,655	4207,712	5398,061
Desvio Padrão	130,004	298,427	102,134	91,350	70,351	132,377	103,760
Variância	16901,163	89058,627	10431,267	8344,905	4949,322	17523,793	10766,114
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-1,094	-270,700	1,055	-0,398		-0,234	-37,055
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-0,682	-254,123	0,993	-0,067		0,234	-27,410

Com base nos valores apresentados nas tabelas observa-se que, para uma plataforma parcialmente heterogênea, não existe diferença significativa entre a utilização dos índices de desempenho PVIP para aplicações CPU-Bound. Nesse caso, a diferença significativa do índice de CPU indica que o uso de um índice específico de CPU é melhor que o uso do índice genérico de desempenho proposto.

Já para aplicações Disk-Bound os índices que não apresentam diferenças significativas correspondem aos índices de CPU, disco, PVIP. Por outro lado, para aplicações do tipo Network-Bound os índices correspondem ao de CPU, rede, PVIP. Em aplicações do tipo mista 1 e mista 2 os índices correspondem aos de CPU, disco, rede e PVIP.

Nos demais casos, onde ocorrem diferenças significativas, estas se apresentam sempre a favor do índice de desempenho proposto no caso de plataforma parcialmente heterogênea.

Tabela 7.17 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação CPU-Bound com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	242,261	2089,559	2089,559	2089,559	212,701	220,832	289,718
Desvio Padrão	4,588	33,300	33,300	33,300	3,790	4,637	16,551
Variância	21,053	1108,867	1108,867	1108,867	14,366	21,500	273,929
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-19,237	-216,891	-216,891	-216,891		-5,258	-17,567
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-12,723	-215,269	-215,269	-215,269		5,258	-15,522

Tabela 7.18 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Disk-Bound com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	15332,328	94195,760	6595,928	94195,760	6625,702	6577,752	9751,975
Desvio Padrão	366,138	1527,144	189,641	1527,144	193,020	165,166	206,217
Variância	134057,399	2332169,344	35963,820	2332169,344	37256,731	27279,701	42525,401
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-81,470	-220,333	0,426	-220,333		0,731	-42,867
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-84,414	-220,919	-0,280	-220,919		-0,731	-46,531

Tabela 7.19 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Network-Bound com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	49374,185	115300,025	53404,997	13401,360	13227,891	13285,482	22956,655
Desvio Padrão	1326,118	1645,866	2166,035	372,506	288,613	308,096	1128,564
Variância	1758590,148	2708875,609	4691709,145	138760,515	83297,688	94923,021	1273657,239
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP - Rede		VIP - PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-103,152	-236,582	-71,209	-1,426		-0,528	-32,346
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP - Rede		PVIP - VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-102,664	-235,958	-71,021	-0,928		0,528	-32,018

Tabela 7.20 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Mista 1 com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	10800,789	32792,779	6894,562	3628,119	3598,366	3667,184	5238,516
Desvio Padrão	233,369	381,947	200,217	116,971	125,479	107,419	277,746
Variância	54461,238	145883,432	40086,768	13682,116	15745,075	11538,754	77143,064
	VIP - CPU	VIP - Memória	Vip - Disco	VIP - Rede		VIP – PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-105,278	-281,246	-54,028	-0,672		-1,614	-20,842
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP – Disco	PVIP - Rede		PVIP – VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-107,543	-284,307	-55,013	0,953		1,614	-20,436

Tabela 7.21 – Análise das diferenças estatisticamente significativas de uma aplicação Mista 2 com relação aos diversos índices de carga aos quais foi submetida em uma plataforma heterogênea

	CPU	Memória	Disco	Rede	VIP	PVIP	Round Robin
Média	10818,267	32872,056	6894,653	3680,203	3624,563	3693,189	5135,988
Desvio Padrão	269,954	327,170	227,765	134,117	113,088	105,532	180,192
Variância	72875,071	107040,233	51876,710	17987,440	12788,935	11137,028	32469,109
	VIP - CPU	VIP - Memória	VIP - Disco	VIP – Rede		VIP – PVIP	VIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-95,192	-327,230	-49,804	-1,228		-1,718	-27,516
	PVIP - CPU	PVIP - Memória	PVIP - Disco	PVIP – Rede		PVIP – VIP	PVIP - Round Robin
Hipótese $\alpha=0,01$	-95,206	-328,736	-49,394	0,295		1,718	-26,759

No caso de plataformas heterogêneas, o que se observa com base nos valores apresentados nas tabelas é a inexistência de diferença significativa entre a utilização dos índices de desempenho PVIP para aplicações CPU-Bound.

Para aplicações Disk-Bound os índices que não apresentam diferenças significativas correspondem aos índices de disco e PVIP. Por outro lado, para aplicações do tipo Network-Bound os índices correspondem ao de rede, PVIP. Em aplicações do tipo mista 1 e mista 2 os índices correspondem aos de rede e PVIP.

Nos demais casos, onde ocorrem diferenças significativas, estas se apresentam sempre a favor do índice de desempenho proposto no caso de plataforma heterogênea.

O que se pode observar com relação aos valores obtidos nas três plataformas é que o índice de desempenho (seja para o VIP ou PVIP) apresenta sempre bons

resultados quando comparados aos demais índices tradicionais apresentados na literatura.

Para plataformas homogêneas a utilização do índice de desempenho em substituição ao escalonamento feito somente com o uso do algoritmo round-robin não ocasiona perda de desempenho, ao passo que, em plataformas parcialmente heterogêneas e plataformas heterogêneas tem-se ganho de desempenho com essa substituição.

7.4.4 Avaliação dos Resultados Obtidos

Os resultados apresentados nas seções anteriores são médias das execuções do programa de simulação com diferentes sementes de números aleatórios. A simulação foi desenvolvida para executar 5000 aplicações, independentemente do tipo de aplicação considerada. Dessa forma, aplicações do tipo CPU-Bound vão finalizar em um tempo real de simulação muito menor que aplicações Disk-Bound ou Network-Bound.

Essa abordagem foi adotada por proporcionar resultados mais adequados, uma vez que sempre será considerado o mesmo número de aplicações.

Por outro lado, como os tipos de aplicações são distintos, os tempos finais são diferentes e não podem ser diretamente comparados. Desta forma, para viabilizar a comparação, optou-se por normalizar os valores obtidos, baseando-se no índice que gerou o menor tempo de resposta.

A avaliação dos resultados obtidos está dividida em duas fases:

I – Comparação entre os índices tradicionais;

II – Comparação entre os índices propostos neste trabalho e os índices tradicionais.

I – Comparação entre os índices tradicionais

As tabelas 7.22 a 7.24 apresentam os resultados normalizados para os índices tradicionais. Observa-se na tabela 7.22, por exemplo, que em sistemas homogêneos, para uma aplicação CPU-Bound, o melhor índice é o de CPU. Se um índice de memória, rede ou disco for utilizado, tem-se um tempo de resposta 9,32 vezes maior que o obtido para o índice de CPU.

As aplicações envolvidas no processo são uniformemente distribuídas entre os recursos.

Tabela 7.22 – Tabela normalizada pelo melhor índice de carga por tipo de aplicação em plataforma homogênea – índices tradicionais

Aplicações						
Índices	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2	Média
CPU	1,00	1,03	1,01	1,01	1,02	1,01
Memória	9,32	9,42	9,38	9,48	9,31	9,38
Disco	9,32	1,00	1,04	1,02	1,00	2,68
Rede	9,32	9,42	1,00	1,00	1,01	4,35
Round-Robin	1,01	1,01	1,01	1,00	1,01	1,01

Tabela 7.23 – Tabela normalizada pelo melhor índice de carga por tipo de aplicação em plataforma parcialmente heterogênea – índices tradicionais

Aplicações						
Índices	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2	Média
CPU	1,00	1,00	1,02	1,03	1,02	1,02
Memória	5,59	6,04	6,10	6,13	6,15	6,00
Disco	5,59	1,00	1,36	1,00	1,00	1,99
Rede	5,59	6,04	1,00	1,00	1,01	2,93
Round-Robin	1,18	1,28	1,30	1,29	1,30	1,27

Tabela 7.24 – Tabela normalizada pelo melhor índice de carga por tipo de aplicação em plataforma heterogênea – índices tradicionais

Aplicações						
Índices	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2	Média
CPU	1,00	2,32	3,68	2,98	2,94	2,59
Memória	8,63	14,28	8,60	9,04	8,93	9,90
Disco	8,63	1,00	3,99	1,90	1,87	3,48
Rede	8,63	14,28	1,00	1,00	1,00	5,18
Round-Robin	1,20	1,48	1,71	1,44	1,40	1,45

Analisando-se os resultados das tabelas 7.22 a 7.24, observa-se que:

1. O melhor índice é sempre o específico da aplicação. O problema encontrado é saber a priori o tipo da aplicação.
2. Para sistemas homogêneos e parcialmente heterogêneos, quando não se têm informações sobre a aplicação pode-se utilizar tanto o índice de CPU quanto o round-robin que os resultados serão praticamente iguais.

3. Para sistemas heterogêneos, a melhor opção, quando não se conhece o tipo de aplicação é a utilização dos índices de CPU e Round-Robin. No entanto, nesses casos, existem variações que dependem do grau de heterogeneidade do sistema e do tipo de aplicação. Observa-se que no caso do round-robin obtêm-se valores mais estáveis.

Na grande maioria dos trabalhos apresentados na literatura, o índice de CPU é utilizado para qualquer tipo de aplicação. Considerando-se os resultados apresentados pode-se comparar a utilização do índice de CPU com a abordagem Round-robin.

Assim, considerando-se que em um conjunto de aplicações tem-se:

x aplicações CPU-Bound

$(1-x)$ aplicações não CPU-Bound

e que os tempos para executar as aplicações são:

t_1 = tempo para executar aplicações CPU-Bound com índice de carga de CPU

t_2 = tempo para executar aplicações não CPU-Bound com índice de carga de CPU

t'_{RR} = tempo médio para executar qualquer tipo de aplicação utilizando round-robin

tem-se que:

o tempo para executar x aplicações CPU = $x*t_1$

o tempo para executar $(1-x)$ aplicações não CPU = $(x-1) * t_2$

T_{RR} = tempo para executar todas as aplicações com round-robin = t'_{rr}

T_{CPU} = tempo para executar todas as aplicações com índice de CPU = $x*t_1 + (1-x)*t_2$

assim, quando $T_{CPU} < T_{RR}$ deve-se utilizar o índice de CPU e quando $T_{CPU} > T_{RR}$ deve-se utilizar o round-robin.

Portanto,

$$xt_1 + (1-x)t_2 < T_{RR}$$

Equação 7.1

resolvendo a equação tem-se:

$$x < \frac{T_{RR} - T_2}{T_1 - T_2} \text{ de modo que o índice de CPU é mais adequado que o round-}$$

robin.

Para os casos homogêneos e parcialmente heterogêneos, o índice de CPU é claramente mais adequado.

Para o caso heterogêneo, aplicando-se a equação 7.1, tem-se que:

$$x > 0,77$$

isto é, se mais de 77% das aplicações forem do tipo CPU-Bound a utilização do índice de CPU é mais apropriada para que não ocorra perda de desempenho, caso contrário o round-robin pode ser utilizado sem que ocorra prejuízo.

Por outro lado, resultados diferentes podem ser observados quando se faz uso do índice proposto - VIP.

II – Comparação entre os índices propostos neste trabalho e os índices tradicionais.

As tabelas 7.25 a 7.27 apresentam os resultados normalizados para os índices tradicionais. Observa-se na tabela 7.26, por exemplo, que em sistemas homogêneos, para uma aplicação CPU-Bound, o melhor índice, novamente, é o de CPU. Se um índice de memória, rede ou disco for utilizado, tem-se um tempo de resposta 9,37 vezes maior que o obtido para o índice de CPU. As aplicações envolvidas no processo são uniformemente distribuídas entre os recursos.

Tabela 7.25 – Tabela normalizada pelo melhor índice de carga por tipo de aplicação em plataforma homogênea

Aplicações						
Índices	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2	Média
CPU	1,00	1,04	1,02	1,02	1,02	1,02
Memória	9,37	9,52	9,44	9,51	9,36	9,44
Disco	9,37	1,01	1,05	1,02	1,00	2,69
Rede	9,37	9,52	1,01	1,00	1,01	4,38
Round-Robin	1,01	1,02	1,02	1,00	1,01	1,01
VIP	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabela 7.26 – Tabela normalizada pelo melhor índice de carga por tipo de aplicação em plataforma parcialmente heterogênea

Aplicações						
Índices	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2	Média
CPU	1,00	1,01	1,02	1,03	1,02	1,02
Memória	5,59	6,08	6,10	6,14	6,15	6,01
Disco	5,59	1,01	1,36	1,00	1,00	1,99
Rede	5,59	6,08	1,00	1,00	1,01	2,94
Round-Robin	1,18	1,29	1,30	1,29	1,30	1,27
VIP	1,06	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01

Tabela 7.27 – Tabela normalizada pelo melhor índice de carga por tipo de aplicação em plataforma heterogênea

Aplicações						
Índices	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2	Média
CPU	1,14	2,32	3,73	3,00	2,98	2,64
Memória	9,82	14,28	8,72	9,11	9,07	10,20
Disco	9,82	1,00	4,04	1,92	1,90	3,74
Rede	9,82	14,28	1,01	1,01	1,02	5,43
Round-Robin	1,36	1,48	1,74	1,46	1,42	1,49
VIP	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

De modo análogo, analisando-se os resultados das tabelas 7.25 a 7.27, observa-se que:

1. Para sistemas homogêneos, parcialmente heterogêneos e heterogêneos, a melhor opção, quando não se conhece o tipo de aplicação é a utilização do índice proposto VIP. Principalmente quando o tipo de aplicação é misto, o uso do VIP torna-se ainda mais atraente em plataformas heterogêneas.

Para o caso heterogêneo, aplicando-se a equação 7.1, tem-se que:

$$x > 1$$

isto é, em 100% dos casos deve-se fazer uso do índice VPI para que não ocorra perda de desempenho.

A partir dessa análise, pode-se observar que, excetuando-se a plataforma homogênea, o índice de desempenho apresenta-se muito melhor em termos de uso quando do não conhecimento da plataforma utilizada, bem como do desconhecimento do tipo de aplicação submetida ao escalonamento.

O gráfico apresentado na figura 7.8 ilustra a interação existente entre os fatores. Pode-se observar no gráfico que para os índices de carga 5 e 6 o comportamento das aplicações é mais estável do que quando utilizados os demais índices de carga. Isso demonstra que para esses índices praticamente não existe influência no uso desses para os vários tipos de aplicações, de modo que podem ser utilizados indiscriminadamente.

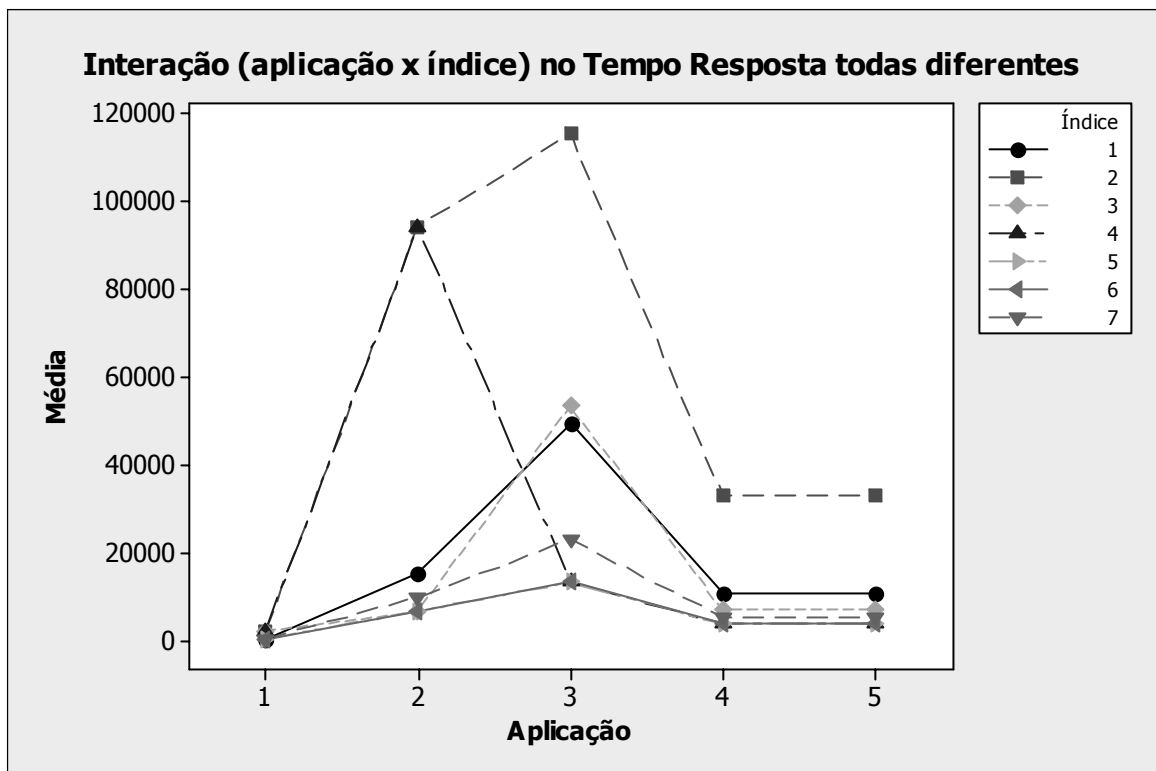


Figura 7.8 – Relação entre os fatores envolvidos na análise de variância

Na legenda apresentada, os índices correspondem aos: 1- CPU, 2- memória, 3- disco, 4- rede, 5 VIP, 6- PVIP e 7-Round-robin.

Tabela 7.28 – Análise de variância

Análise de Variância (ANOVA)					
Fontes de Variação (Variável Independente)	SS	Graus de Liberdade	MS	Estatística F	Nível de Significância p
Aplicação	1,21158E+11	4	3,02894E+10	64801,56	0,000
Índice	1,37804E+11	6	2,29673E+10	49136,60	0,000
Aplicação X Índice	1,64489E+11	24	6,85371E+09	14662,93	0,000

Pode-se então, a partir dos resultados apresentados na tabela 7.28, responder a Hipótese 1, a qual aceita a hipótese (uma vez que $P < 0,05$) que os vários índices de carga e os diferentes tipos de aplicações influenciam o tempo de resposta final do sistema.

7.5 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os resultados obtidos com relação ao índice de desempenho proposto nesta tese.

Partindo da confecção do modelo em redes de fila para escalonamento de processos apresentado no capítulo 6, pode-se testar não somente o índice de desempenho, mas também os demais índices de carga existentes na literatura, demonstrando a usabilidade e flexibilidade desse novo índice principalmente em plataformas heterogêneas.

O índice de desempenho foi utilizado com diversos tipos de aplicações e as devidas comparações foram efetuadas, apresentando um aumento de desempenho, o que demonstrou que a escolha do índice de carga influencia na qualidade das operações de escalonamento de processos, mais especificamente no balanceamento de cargas.

A análise estatística dos resultados obtidos foi realizada e apresentada, demonstrando que a diferença existente entre o índice de desempenho quando comparado aos demais índices de carga existentes na literatura é estatisticamente significativa. Entre outras análises pode-se também observar que todos os tipos de aplicações avaliadas apresentaram um comportamento estável quando escalonadas com base no índice de desempenho proposto nesta tese.

Os resultados aqui obtidos demonstram também a necessidade de se levar em consideração todos os recursos envolvidos no processo de escalonamento de processos para que decisões mais acertadas possam ser tomadas, independentemente do objetivo que se queira alcançar com o escalonamento, principalmente quando o tipo de aplicação faz uso dos diversos tipos de recursos ou quando não se sabe explicitamente o tipo de aplicação que será escalonada.

A avaliação realizada, embora parcial, demonstra o potencial existente do novo índice proposto. Empregado de forma correta, o índice de desempenho pode melhorar o desempenho de um escalonador de maneira significativa.

O próximo capítulo tem como objetivo apresentar as conclusões gerais obtidas com o desenvolvimento desta tese.