



INTER
FACES
CIENTÍFICAS

EXATAS E TECNOLÓGICAS

ISSN IMPRESSO - 2359-4934

ISSN ELETRÔNICO - 2359-4942

DOI - 10.17564/2359-4934.2015v1n2p21-34

ANÁLISE DE DISPONIBILIDADE DE SERVIDORES VIRTUALIZADOS COM CADEIAS DE MARKOV

Leonardo Henrique Silva Bomfim¹
Ricardo J. Paiva Brito Salgueiro³

Luana Barreto Silva²

RESUMO

A análise da disponibilidade de servidores virtualizados é uma importante ferramenta para os gestores em tecnologia da informação e comunicação, especialmente quando se trata de planejamento e concepção de centros de dados. Do uso da virtualização permite uma redução de custos, mas também pode tornar o sistema mais suscetível a tempo de inatividade. Este trabalho analisa a disponibilidade de dois ambientes, um com um servidor virtualizado e outro com os servidores não-virtualizados. Os serviços oferecidos são e-mail, DNS, Web Server e servidor de arquivos, um cenário típico em muitas empresas. É desenvolvido um estudo de caso utilizando modelagem analítica com Árvore de Falhas e Cadeias de Markov. A árvore de falhas é usado para modelar os servidores e cadeias de Markov para modelar o comportamento de cada componente de hardware e software. O ambien-

te não virtualizado é composta de quatro servidores, cada um fornecendo serviços específicos, enquanto a virtualização consiste de um único servidor com quatro máquinas virtuais, cada um proporcionando um serviço. Ao analisar os modelos desenvolvidos, os resultados mostram que, apesar de o sistema não virtualizado tem menos tempo de inatividade, porque tem menos dependência entre os serviços, a diferença, neste caso, é de 0,06% ao ano, torna-se irrelevante quando comparado com os benefícios trazidos pela virtualização.

PALAVRAS-CHAVE

virtualização, análise de disponibilidade, cadeias de Markov.

ABSTRACT

The analysis of the availability of virtualized servers is an important tool for managers in information and communication technology, especially when it comes to planning and designing data centers. The use of virtualization allows a reduction of costs but can also make the system more susceptible to downtime. This paper analyzes the availability of two rooms, one with a virtualized server and another with non-virtualized servers. The services offered are e-mail, DNS, web server and file server, a typical scenario in many companies. It developed a case study using analytical modeling with fault tree and Markov Chains. The fault tree is used to model the servers and Markov chains to model the behavior of each hardware and software component. The fault tree is used to model the servers and Markov chains to mo-

del the behavior of each hardware and software component. The non-virtualized environment consists of four servers, each providing specific services as virtualization consists of a single server with four virtual machines, each providing a service. By analyzing the models developed, the results show that, although the non-virtualized systems have less downtime, because it has less dependency between the services, the difference in this case is 0.06% per year, it becomes irrelevant when compared to the benefits brought by virtualization.

KEYWORDS

Virtualization. Analysis of Availability. Markov Chains.

RESUMEN

El análisis de la disponibilidad de los servidores virtuales es una herramienta importante para los administradores de tecnología de información y comunicación, especialmente cuando se trata de centros de datos de planificación y diseño. El uso de la virtualización permite una reducción de costes, pero también puede hacerlo más susceptible a la inactividad del sistema. Este trabajo analiza la disponibilidad de dos habitaciones, una con un servidor virtual y otro con los servidores no virtual. Los servicios que ofrece son el correo electrónico, DNS, servidor Web y el servidor de archivos, un escenario típico en muchas empresas. Se desarrolló un estudio de caso utilizando el modelado analítico con el árbol de fallos y cadenas de Markov. El árbol de fallos se utiliza para modelar los servidores y cadenas de Markov para modelar el comportamiento de cada componente de hardware y software. El entorno no virtual

se compone de cuatro servidores, cada uno proporciona servicios específicos, mientras que la virtualización consiste en un único servidor con cuatro máquinas virtuales, cada uno proporciona un servicio. Mediante el análisis de los modelos desarrollados, los resultados muestran que, aunque el sistema no virtual tiene menos tiempo de inactividad, ya que tiene menos dependencia entre los servicios, la diferencia en este caso es de 0,06% anual, es irrelevante en comparación con los beneficios aportados por la virtualización.

PALABRAS CLAVE

virtualización, análisis de disponibilidad, cadenas de Markov.

1 INTRODUÇÃO

A virtualização nos *datacenters* das empresas tem ganhado destaque. Com o melhor desempenho do *hardware* e o barateamento do mesmo a partir de 1990, os servidores das empresas passaram a ficar subutilizados, com uma carga de processamento entre 5 a 15% do total de recursos disponíveis (ANDRADE; OKANO, 2008).

A virtualização pode ser justificada, em ambientes de *datacenters*, por meio da consolidação de servidores. A política de gestão de uma única aplicação por servidor é ainda muito utilizada, mesmo quando o aplicativo, em grande parte de seu tempo fique ocioso, fazendo com que a utilização do servidor físico resultante seja de apenas 5%, em média (SCARFO, 2011).

Para solucionar o problema da subutilização dos servidores nos *datacenters* das empresas é utilizado o conceito de virtualização, que fornece a cada usuário um ambiente independente dos demais. O uso da virtualização possibilita a redução de custos com compras de servidores, gastos com consumo de energia elétrica, espaço físico para acondicionar os servidores e também redução de gastos com aparelhos de refrigeração do ambiente para manter o local com a temperatura adequada.

Apesar dos benefícios proporcionados pela virtualização, é preciso analisar a disponibilidade de um servidor virtualizado. Uma vez que, diversos serviços são oferecidos por um único servidor físico, diferente de um *datacenter* tradicional, com o conceito de um serviço por servidor.

A disponibilidade é uma propriedade de dependabilidade de sistemas, que consiste na capacidade de um sistema oferecer um serviço confiável, que seja tolerante a falhas. A tolerância a falha corresponde à capacidade do sistema de continuar provendo serviços, mesmo na presença de falhas, por meio de técnicas como redundância de *hardware*, configurações

de *software* e virtualização (AVIZIENIS ET AL., 2004).

Para analisar a viabilidade da virtualização numa empresa, este trabalho emprega a modelagem analítica para avaliar a disponibilidade dos serviços, possibilitando assim que uma organização efetue a escolha de virtualizar seu *datacenter*. O estudo de viabilidade sobre implantar ou não a virtualização, em um ambiente de *datacenter*, está fundamentado na modelagem analítica, que avaliará a disponibilidade de serviços não críticos a serem migrados para o ambiente proposto neste trabalho.

A modelagem analítica é utilizada em estudos para efetuar a avaliação de sistemas. Um exemplo está presente em Kochut (2009), que formula um modelo analítico para investigar como o consumo de energia em servidores virtuais depende de propriedades da carga de trabalho, da infraestrutura de virtualização e da média de densidade de máquinas virtuais por servidor físico. Outro exemplo é em Menasce (2005) que apresenta um modelo de performance para ambientes virtuais por meio da modelagem analítica.

Um trabalho de destaque é o de Kim, Machida e Trivedi (2009), que por meio da modelagem analítica apresenta um modelo de disponibilidade e análise de sistemas virtualizados. Foram construídos dois sistemas, um virtualizado e outro não virtualizado, e com o uso da modelagem analítica determinaram a disponibilidade considerando as falhas que podem ocorrer em nível de *hardware*, *software* e do próprio programa *hypervisor* que realiza a virtualização da máquina (KIM, MACHIDA e TRIVEDI, 2009).

Desza forma, este trabalho analisa a disponibilidade de um *datacenter* que fornece os serviços de servidor de Arquivos, Web, DNS e E-mail. Estes serviços podem ser encontrados em diversas empresas sejam elas da área de tecnologia informação ou de outros setores.

A disponibilidade dos servidores é obtida com o uso da modelagem analítica, utilizando Cadeias de Markov para analisar o comportamento dos componentes de *hardware* e *software*. Com o uso de uma Árvore de Falhas foi modelado o ambiente virtualizado e um não virtualizado para posterior comparação de disponibilidade entre eles.

O artigo está organizado da seguinte forma. A seção dois descreve o conceito de virtualização. A seção três apresenta a abordagem sobre análise de disponibilidade de sistemas computacionais, abrangendo ao uso de modelagem analítica, utilizando Cadeias de Markov. Na seção quatro são discutidos os cenários analisados e na seção cinco são apresentados os modelos desenvolvidos com Árvores de Falhas e Cadeias de Markov. Na seção seis são discutidos os resultados alcançados. E na seção sete encontram-se as considerações finais deste trabalho.

2 VIRTUALIZAÇÃO

O conceito de máquina virtual surgiu na década de 1960, quando a IBM desenvolveu o sistema operacional M44/44X, a partir dele, outros foram desenvolvidos com suporte a virtualização, como o OS/370 (MEYER; SEAWRIGH, 1970).

Um assunto que está em alta na área tecnológica é virtualização. Em poucas palavras pode ser explicado da seguinte maneira: vários Sistemas Operacionais compartilhando o mesmo hardware. Apesar de o assunto parecer novidade, essa abordagem foi usada, com sucesso, pela IBM no início dos anos 1960, que em uma linha de mainframes, oferecia uma máquina virtual, portada para várias de suas plataformas, sobre a qual as aplicações executavam.

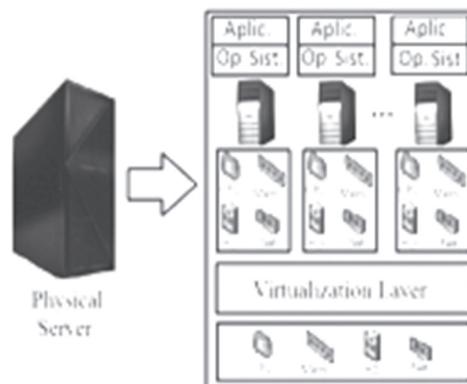
A partir de 1990 o desenvolvimento do *hardware* torna-o com melhor desempenho e qualidade, e é desenvolvida a linguagem de programação Java que utiliza o conceito de máquina virtual para que os pro-

gramas desenvolvidos sejam capazes de funcionar multiplataforma (LAUREANO; MAZIERO, 2014).

Atualmente, a virtualização está sendo utilizada não apenas para redução de custos em *datacenters*, há também o uso na área de educação (DOBRILOVIC; STOJANOV, 2006), teste de softwares, consolidação de servidores (MENASCE; DOWDY; ALMEIDA, 2004), dentre outras áreas.

A virtualização é um processo que permite executar vários sistemas operacionais em um único equipamento (RABBANI, 2012). Conforme pode ser visualizado na Figura 1, em que uma máquina física possui algumas máquinas virtuais, cada uma com recursos de *hardware*, sistema operacional e aplicações.

Figura 1 – Processo de Virtualização



Fonte: Elaborado pelos autores

Um ambiente de máquina virtual consiste de três partes básicas: o sistema real, que contém os recursos reais de *hardware* e *software* do sistema; o sistema virtual, que executa sobre o sistema virtualizado; e a camada de virtualização, denominada *hypervisor*, que constrói as interfaces virtuais a partir da interface real (UHLIG, ET AL., 2005). O *hypervisor* é um *software* que é executado na máquina física, destacam-se o Xen da Citrix, o Hyper-V da Microsoft e o VMWare da VMEare Inc (COURCOUBETIS, 2012).

Para que a virtualização seja adotada nas empresas, faz-se necessário um estudo de disponibilidade que garanta a oferta dos serviços. Para esse estudo são utilizadas Cadeias de Markov para investigar o comportamento de cada componente envolvido no processo de virtualização.

3 ANÁLISE DE DISPONIBILIDADE COM CADEIAS DE MARKOV

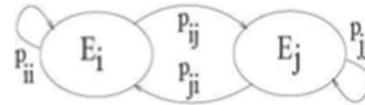
A disponibilidade de um sistema é definida como a fração de tempo em que o sistema está disponível para aceitar solicitações de serviços dos usuários. A duração de tempo em que o sistema está indisponível é chamado de tempo de indisponibilidade; e a duração de tempo em que o sistema está disponível é chamado de tempo de disponibilidade (JAIN, 1991).

Neste trabalho, para análise de disponibilidade do serviço de um servidor virtualizado é utilizado Cadeias de Markov para descrever o comportamento de cada componente de *hardware* e *software*.

Processos de Markov representam fenômenos que podem ser classificados em estados finitos e discretos, com uma probabilidade de transição entre os estados. A sequência de estados, seguindo este processo denomina-se Cadeia de Markov (DESROCHERSE; AL'JAAR, 1995).

Cadeias de Markov podem ser representadas utilizando diagramas de transições de estados, como apresentado na Figura 2. Os estados são representados pelos círculos nomeados de E_i e E_j , e as transições são p_{ij} , p_{ji} , p_{ii} e p_{jj} . A taxa total das transições de entrada e saída de um estado totalizam 1, representando a probabilidade 100%.

Figura 2 – Exemplo de Cadeia de Markov



Fonte: DESROCHERSE; AL'JAAR, 1995

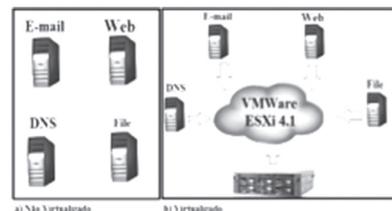
As Cadeias de Markov apresentam limitações no modelo que são explicadas por (MENASCE; DOWDY; ALMEIDA, 2004); uma dessas limitações é o fato de ser *Memoryless Assumption*, desta forma, assume-se que toda a informação necessária do sistema está descrito naquele estado, o que também ocasiona que é irrelevante o tempo que se passa em um mesmo estado. A única coisa importante a saber é a probabilidade de ir para um determinado estado através do atual.

E, outra limitação é por ser *Resulting Limitation*, porque todas as informações devem estar contidas em estados, as Cadeias de Markov estão sujeitas a terem grandes dimensões, o que causa um aumento da complexidade e perda de precisão.

4 CENÁRIOS ANALISADOS

Dois cenários são propostos para o desenvolvimento do estudo de caso. O primeiro cenário proposto é um *datacenter* não virtualizado, com o conceito de um serviço por servidor, como apresentado na Figura 3a. Com esta configuração, a paralisação de um servidor deixa apenas o serviço que ele provê indisponível, não afetando os demais.

Figura 3 – Cenários Analisados



Fonte: Elaborado pelos autores

Um *datacenter* virtualizado, com os mesmos serviços do não virtualizado, é representado na Figura 3b. Neste *datacenter* foram criadas quatro máquinas virtuais em um único servidor físico, de forma a não exceder o limite dos recursos computacionais disponíveis.

O servidor virtualizado é um modelo Blade com processador Intel Xeon E5430 descrito na Tabela 1, memória RAM de 18 GB e um disco de armazenamento de 530 GB.

Tabela 1 – Descrição do Servidor

Specification	Description
Number of cores	4
Clock Speed	2.66 GHz
L2 Cache	12 MB
FSB Speed	1333 MHz
Instruction Set	64-Bit

Fonte:Elaborado pelos autores

A virtualização do servidor é realizada com o *hypervisor* VMWare ESXi 4.1. A escolha deste *software* ocorre por ser uma ferramenta de licença gratuita, com documentação disponível no site do fabricante e histórico de funcionamento em outros processos de virtualização. A Tabela 2 mostra a configuração de cada máquina virtual criada.

Tabela 2 – Configuração das Máquinas Virtuais

Service	Processor	Mem	HD
Email	2x5.208 GHz	4 GB	100 GB
DNS	1x2.064 GHz	2 GB	8 GB
File	1x2.064 GHz	4 GB	100 GB
Web	1x2.064 GHz	512 MB	8 GB

Fonte:Elaborado pelos autores

5 MODELOS PROPOSTOS

O modelo proposto consiste em uma Árvore de Falhas para calcular a probabilidade de indisponibilidade de *hardware*, *hypervisor*, máquinas virtuais e aplicações, utilizando Cadeias de Markov para capturar o comportamento de cada componente do sistema.

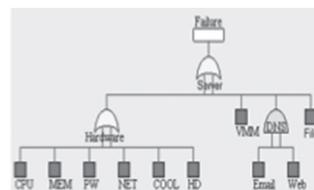
Os modelos utilizados para representar os cenários são as Árvores de Falha. Uma Árvore de Falha representa um sistema por meio de nós, correspondendo às portas lógicas do tipo “OR” e do tipo “AND”.

Uma porta lógica do tipo “OR” apresenta uma falha se qualquer um dos componentes representados abaixo da porta tiver uma indisponibilidade. A porta lógica do tipo “AND” representa uma falha se todos os componentes abaixo dela apresentarem indisponibilidade.

O modelo de Árvore de Falha apresentado na Figura 4 representa o sistema virtualizado em um servidor. O primeiro nó é uma porta do tipo “OR” e corresponde ao servidor físico. Abaixo dessa porta estão a divisão de *hardware*, a camada de virtualização (VMM) e as máquinas virtuais do servidor.

A porta lógica do tipo “OR” descrita por “Hardware” apresenta os seis componentes de *hardware* do servidor (processador, memória, potência, rede, refrigeração e HD), se houver uma falha em cada um dos componentes, por ser uma porta do tipo “OR”, corresponde a uma falha no sistema.

Figura 4 – Árvore de Falha do Servidor Virtualizado



Fonte:Elaborado pelos autores

O servidor de DNS é representado por uma porta lógica do tipo “AND”, com as máquinas virtuais de Email e Servidor Web abaixo dela. Esta representação ocorre porque se o servidor de DNS deixar de funcionar, os serviços de E-mail e Servidor Web continuam funcionando sem a tradução de endereços. Porém, caso o Servidor Web e o serviço de E-mail apresentem indisponibilidade, o serviço de DNS, mesmo estando disponível, não estará sendo utilizado.

O servidor de arquivos é representado no nível abaixo do servidor físico, pois uma falha nele ocasiona indisponibilidade do sistema, por possuir arquivos utilizados pelas demais máquinas virtuais.

Para o *datacenter* não virtualizado, a Árvore de Falha é apresentada na Figura 5. A explicação assemelha-se ao do *datacenter* virtualizado, porém, ao invés de máquinas virtuais há a representação de servidores físicos com hardware e sistema operacional.

Figura 5 – Árvore de Falha de um *datacenter* não virtualizado

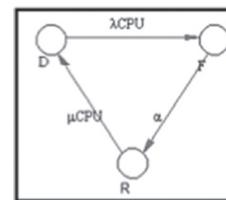


Fonte:Elaborado pelos autores

Os componentes de *hardware* (CPU, memória, HD, sistema de refrigeração, dispositivo de rede e fonte de energia), *software* (sistema operacional e *hypervisor*) e máquinas virtuais são representados por Cadeias de Markov para obtenção do estado de falha de cada um.

A Figura 6 apresenta a Cadeia de Markov para o comportamento do processador do servidor físico. No estado “Disponível” o sistema está ativo, quando o processador apresenta uma falha com uma taxa λ_{CPU} , o sistema entra no estado “Falha”, e uma pessoa é designada para resolver o problema com uma taxa α , indo ao estado “Reparo”. Com o reparo concluído em uma taxa média de reparo μ_{CPU} , o sistema volta ao estado “Disponível”.

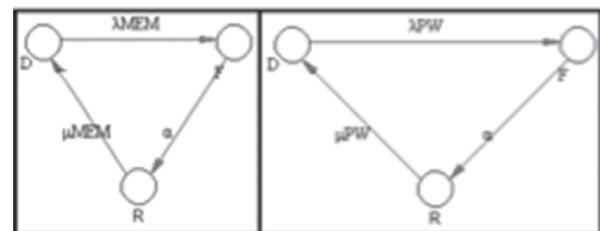
Figura 6 – Cadeia de Markov para o subsistema: CPU



Fonte:Elaborado pelos autores

Os subsistemas de memória, fonte de energia, sistema de refrigeração, HD e rede possuem a mesma cadeia apresentada na Figura 6, apenas com os valores dos parâmetros de entrada sendo diferentes. As Figuras 7 e 8 representam, respectivamente, as Cadeias de Markov para os componentes de memória, fonte de energia, sistema de refrigeração (*cooling*), HD e rede.

Figure 7 – Markov Chains for the Subsystems: Memória, Energia

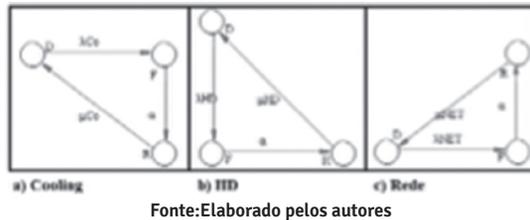


a) Memória

b) Energia

Fonte:Elaborado pelos autores

Figura 8 – Cadeia de Markov para o subsistema: Cooling, HD, Rede



A Cadeia de Markov para o comportamento do sistema operacional possui cinco estados, apresentados na Figura 9. O modelo inicia no estado “Disponível”, ocorrendo uma falha com uma taxa λ_{SO} , o modelo passa para o estado “Falha”. Após detecção da falha, a uma taxa σ_{SO} , o modelo move-se para o estado “Reinício” e o sistema é reiniciado.

Se com este procedimento o sistema voltar a funciona, a cadeia segue para o estado “Disponível”; caso contrário, move-se para o estado “FalhaReinício”. No estado “FalhaReinício” uma pessoa é designada para corrigir o problema, indo para o estado “Reparo”. Quando o reparo for concluído, o sistema volta para “Disponível”. Neste modelo, μ_{SO} representa o tempo médio de reparo, β_{SO} fator de reinício e β_{SO} tempo médio de reinício. A Cadeia de Markov para o *hypervisor*, apresentado na Figura 10, é semelhante ao do sistema operacional.

Figura 9 – de Markov para o subsistema: Sistema Operacional

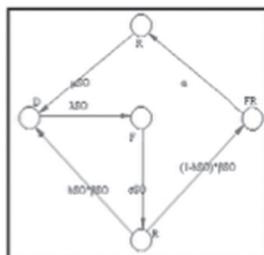


Figura 10 – de Markov para o subsistema: Hypervisor

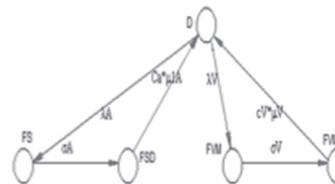


A Cadeia de Markov para o comportamento das máquinas virtuais é apresentada na Figura 11, possuindo 5 estados. No estado “Disponível” a máquina virtual está funcionando adequadamente. Ocorrendo uma falha no serviço, a cadeia passa para o estado “FalhaServico”. Com a falha sendo detectada passa para o estado “FalhaServicoDetectada”, neste estado a falha é corrigida e a cadeia retorna para o estado “Disponível”.

Para uma indisponibilidade na Máquina Virtual, a cadeia apresentada na Figura 11, segue o mesmo comportamento da falha no serviço.

Neste modelo, A é o tempo médio de falha de uma aplicação, A é o tempo médio para detecção da falha, CA é o fator para reparo da aplicação e μ_{1A} é o tempo médio de reparo da aplicação. O símbolo λ_V é o tempo médio para falha da máquina virtual, σ_V representa o tempo médio para detecção da falha em uma máquina virtual, CV é o fator de reparo para máquina virtual e μ_V é o tempo médio de reparo para máquina virtual.

Figura 11 – de Markov para o subsistema: Máquinas Virtuais



6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Cadeias de Markov e as Árvores de Falha são modeladas, utilizando a ferramenta SHARPE. Com esta ferramenta é realizado o cálculo de disponibilidade dos componentes das Cadeias de Markov. E com as Árvores de Falha são calculadas as probabilidades de disponibilidade de cada sistema e o tempo médio de falha anual.

O SHARPE é uma ferramenta que fornece uma linguagem de especificação e métodos de solução para a maioria dos tipos de modelo utilizado para o desempenho, confiabilidade e modelagem de performance.

A ferramenta apresenta o conceito de hierarquia, porque permite que medidas de um modelo sejam utilizadas como parâmetros de entrada para outros modelos.

A obtenção dos parâmetros dos modelos é dada por meio dos manuais dos componentes, observações

e trabalhos disponíveis. Os valores dos parâmetros de entrada nos modelos para o tempo médio de falha dos componentes deste estudo de caso são obtidos em (KIM, MACHIDA e TRIVEDI, 2009).

Os valores para o tempo médio de reparo dos componentes e o tempo de um funcionário ser designado variam de acordo com o grupo de trabalho de cada empresa. Neste trabalho correspondem a uma hora o tempo médio de reparo e 30 minutos o de um funcionário ser designado.

Para realização do experimento é importante colocar todos os valores em uma mesma unidade de referência. Esta troca de unidade deve considerar a que melhor se adequar ao estudo, produzindo menor número de casas decimais, e desta forma, reduzindo o erro nas operações aritméticas.

Os valores dos parâmetros, deste estudo de caso, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valor dos parâmetros dos modelos

Parâmetro	Descrição	Valor
$1/\lambda_{CPU}$	Tempo médio de falha da CPU	2.500.000 horas
$1/\lambda_{MEM}$	Tempo médio de falha da Memória	480.000 horas
$1/\lambda_{PW}$	Tempo médio de falha do Sistema de energia	670.000 horas
$1/\lambda_{NET}$	Tempo médio de falha da Rede	120.000 horas
$1/\lambda_{CO}$	Tempo médio de falha dd cooling	3.100.000 horas
$1/\lambda_{HD}$	Tempo médio de falha da HD	20.000.000 horas
$1/\lambda_{VMM}$	Tempo médio de falha da Hypervisor	2880 horas
$1/\lambda_{SO}$	Tempo médio de falha do Sistema Operacional	1440 horas
$1/\lambda_V$	Tempo médio de falha da Máquina Virtual	2880 horas
$1/\lambda_A$	Tempo médio de falha do software	336 horas
$1/\mu_{CPU}$	Tempo médio de reparo da CPU	1 hora

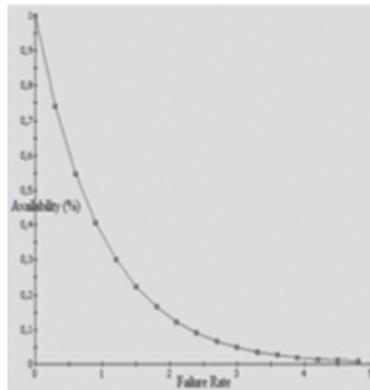
Parâmetro	Descrição	Valor
1/ μ MEM	Tempo médio de reparo da Memória	1 hora
1/ μ PW	Tempo médio de reparo do Sistema de energia	1 hora
1/ μ NET	Tempo médio de reparo da Rede	1 hora
1/ μ CO	Tempo médio de reparo dd cooling	1 hora
1/ μ HD	Tempo médio de reparo do HD	1 hora
1/ μ VMM	Tempo médio de reparo do Hypervisor	1 hora
1/ μ SO	Tempo médio de reparo do Sistema Operacional	1 hora
1/ μ V	Tempo médio de reparo da Máquina Virtual	1 hora
1/ μ 1A	Tempo médio de reparo do Software	1 hora
1/ σ VMM	Tempo médio para detectar a falha no hypervisor	30 segundos
1/ σ SO	Tempo médio para detectar a falha no sistema operacional	30 segundos
1/ σ V	Tempo médio para detectar a falha na máquina virtual	30 segundos
1/ σ A	Tempo médio para detectar a falha do software	30 segundos
1/ β VMM	Tempo médio para reiniciar o hypervisor	10 minutos
1/ β SO	Tempo médio para reiniciar o Sistema operacional	10 minutos
1/ α	Tempo médio para um usuário ser designado para realizar reparo	30 minutos
1/ b VMM	Coeficiente de reinício do Hypervisor	0.9
1/ b SO	Coeficiente de reinício do Sistema Operacional	0.9
1/ C V	Coeficiente de reparo da máquina virtual	0.95
1/ C A	Coeficiente de reparo do software	0.9

Dessa forma, é realizada a análise do modelo para averiguar o comportamento das cadeias e árvores de falha propostos com a variação dos parâmetros. Também, é realizado o cálculo da disponibilidade dos sistemas e a análise transiente. Com a análise transiente observa-se o comportamento dos sistemas com o aumento do tempo de funcionamento de ambos.

A. Análise do Modelo

A Figura 12 apresenta a análise da Árvore de Falha do sistema virtualizado. Quando há um aumento na taxa de falha da CPU, a disponibilidade do sistema decresce. Como a Árvore de Falha do sistema não virtualizado é desenvolvido, utilizando a mesma estrutura, também apresenta o mesmo comportamento.

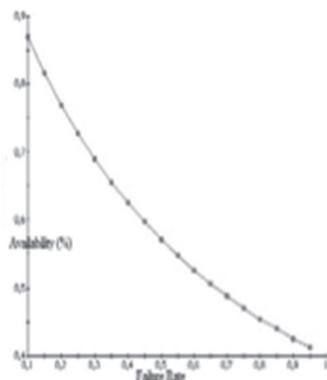
Figura 12 – Análise de disponibilidade do modelo virtualizado



Fonte:Elaborado pelos autores

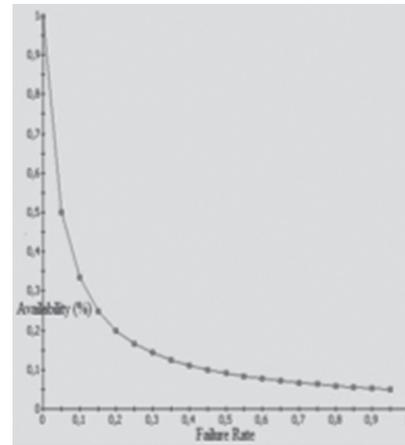
O comportamento das Cadeias de Markov para os dispositivos de *hardware* e *software* estão representados na Figura 13, com a análise específica da cadeia referente ao dispositivo físico de memória. Quando a taxa de falha aumenta há o decréscimo da disponibilidade do sistema. Comportamento semelhante ocorre com a Cadeia de Markov para as máquinas virtuais, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 13 – Análise de disponibilidade utilizando Cadeias de Markov para os subsistemas de hardware



Fonte:Elaborado pelos autores

Figura 14 – Análise de disponibilidade utilizando Cadeias de Markov para o subsistema de Máquina Virtual



Fonte:Elaborado pelos autores

Esta análise demonstra que os modelos estão apresentando comportamento coerente com variações nos parâmetros fornecidos, ou seja, com o aumento da taxa de falha a disponibilidade decresce em todos os modelos.

B. Disponibilidade dos Sistemas

A Tabela 4 apresenta os resultados para disponibilidade e o tempo médio anual de indisponibilidade dos sistemas.

Tabela 4 – Resultado de disponibilidade dos sistemas

	Measures	Values
Sistema Virtualizado	Probabilidade de Disponibilidade	99,92%
	Tempo médio anual de indisponibilidade	468 minutos
Sistema Não Virtualizado	Probabilidade de Disponibilidade	99,98%
	Tempo médio anual de indisponibilidade	129 minutos

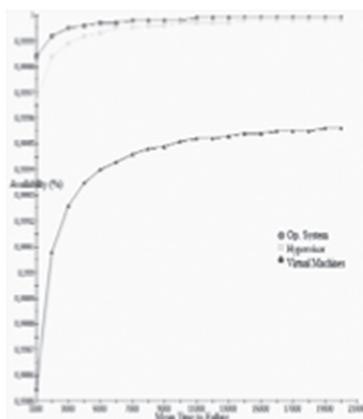
Fonte:Elaborado pelos autores

A disponibilidade do servidor virtualizado corresponde a aproximadamente 99,92%; o tempo de indisponibilidade por ano é de aproximadamente 468 minutos (7 horas e 48 minutos), o que representa 0,09% do ano.

Para o sistema não virtualizado, representado com quatro servidores físicos distintos, a disponibilidade do sistema corresponde a aproximadamente 99,98%; e tempo de indisponibilidade por ano é de aproximadamente 129 minutos (2 horas e 9 minutos), o que representa 0,03% do ano.

Essa diferença de disponibilidade entre os ambientes virtualizados e não virtualizados pode ser visualizado no gráfico apresentado na Figura 15, que corresponde a análise transiente dos sistemas. O eixo X correspondendo ao tempo médio de falha do sistema operacional, *hypervisor* e máquinas virtuais em horas e o eixo Y a disponibilidade.

Figura 15 – Análise transiente dos modelos propostos



Fonte: Elaborado pelos autores

No ambiente virtualizado há apenas um servidor para todos os serviços fornecidos. Com a indisponibilidade do servidor físico, todos os quatro serviços virtualizados param de operar. Enquanto com quatro servidores distintos, se apenas um tiver indisponível, apenas um serviço deixa de ser fornecido.

O importante não é apenas obter os resultados, mas analisá-los. A diferença de disponibilidade entre os datacenters correspondem a aproximadamente 0,06% anual, o que para muitas empresas que prestam este serviço tal diferença torna-se irrelevante, quando comparada às vantagens trazidas pela virtualização.

7 CONCLUSÕES

O processo de virtualização está cada vez mais presente nos datacenters das empresas. Os lucros que se obtém com o uso deste conceito abrangem desde economia com aquisição de novos servidores físicos que ficam com recursos subutilizados, até custos com despesas de energia elétrica na empresa.

Para adoção de uma nova tecnologia é necessário realizar um estudo comparativo baseado em quais serviços a empresa disponibiliza, e desta forma garantir a viabilidade de um *datacenter* virtualizado. Este trabalho apresenta este comparativo para uma empresa que possui serviços como de E-mail, Servidor Web, Servidor de Arquivos e DNS.

Os resultados obtidos para análise de disponibilidade mostram que o sistema não virtualizado apresenta uma menor indisponibilidade por ter menor dependência entre os serviços, ou seja, por cada serviço estar em uma máquina diferente.

Entretanto, a diferença apresentada não foi elevada, considerando o percentual de minutos de indisponibilidade por ano abaixo de 0,1%.

Os ganhos obtidos com a virtualização transpõem o percentual de indisponibilidade para as empresas que não apresentam os serviços analisados como sendo críticos. A economia com o menor gasto na compra de servidores, menor custo no consumo energético das empresas, ganhos com gerenciamento centralizado dos servidores e uma política ambiental pela menor emissão de gases poluentes, devem ser pontos prioritários na gestão de qualquer empresa.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F.; OKANO, M. O impacto da virtualização nas empresas. **Anais do IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, v.1, 2008. p.1-22.
- AVIZIENIS, A.; LAPRIE, J.; RANDELL, B. AND LANDWEHR, C. **Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing**. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, , 2004. p.11-33.
- COURCOUBETIS, C. Economic Issues. In: **Shared Infrastructures**. IEEE/ACM Transactions on Networking, v.20, 2012. p.594-608.
- DESROCHERS, A.; AL'JAAR, R. Y. **Applications of Petri nets in Manufacturing Systems: Modelling, Control and Performance Analysis**. IEEE Press, 1995.
- DOBRILOVIC, D.; STOJANOV, Z. Virtualization software in operating systems course. ITRE 06 - Information Technology, **Research and Education**, 2006. p.222 226.
- JAIN, R. **The Art Of Computer Systems Performance Analysis**. [s.l.]: John Wiley e Sons Inc, 1991.
- KIM, D. S.; MACHIDA, F.; TRIVEDI, K. S. **Availability modeling and analysis of a virtualized system**. IEEE Proceedings of the IEEE International Symposium Pacific Rim Dependable Computing, p. 365–371, 2009.
- KOCHUT, A. **Power and performance modeling of virtualized desktop systems**. IEEE International Symposium on Modeling, Analysis e Simulation of Computer and Telecommunication Systems, 2009. p.1-10.
- LAUREANO M. A. P.; MAZIERO, C. A. Virtualização: Conceitos e aplicações em segurança. [S.l.]: **Anais do 26º Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação**, 2014.
- MENASCE, D. **Virtualization: Concepts, applications, and performance modeling**. CMG-Conference, 2005., p.407-417.
- MENASCE, D.; DOWDY, L.; ALMEIDA, V. **Performance by design: computer capacity planning by example**. [S.l.]: Prentice Hall, 2004.
- MEYER, R.; SEAWRIGHT, L. A virtual machine time-sharing system. **IBM Systems Journal**, v.9, 1970. p.199-218.
- RABBANI, M. et al. **Data Center Network Virtualization: A Survey**. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012. p.1-20.
- SCARFO, A. The Evolution of Data Center Networking Technologies. **First International Conference on Data Compression, Communications and Processing (CCP)**, 2011. p.172-176.
- TRIVEDI, K. **SHARPE 2002: Symbolic Hierarchical Automated Reliability and Performance**.
- UHLIG, R. et al. Intel virtualization technology. **Computer**, v.38, 2005. p.48-56.

Recebido em: 8 de Fevereiro 2015
Avaliado em: 10 de Fevereiro 2015
Aceito em: 30 de Abril 2015

1. Possui Graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Sergipe (2011). Mestrando em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Sergipe. No mercado de trabalho, atua como Analista Nível III - Bluebyte Technologies e professor substituto da Universidade Federal de Sergipe. E-mail: leonardohsb@gmail.com
2. mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Sergipe, possui especialização em Gestão de Projetos de Software pela Faculdade de Negócios de Sergipe e graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Sergipe. Atualmente é professora efetiva do Instituto Federal de Sergipe. E-mail: luana.silva@ifs.edu.br
2. Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2004), fez mestrado em Engenharia Elétrica pela UFPE (1994) e possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Pernambuco - UPE (1987). Atualmente é professor adjunto e líder do Grupo de Pesquisa em Redes e Computação Distribuída - GPRCom da Universidade Federal de Sergipe - UFS, desenvolvendo pesquisas na área de Modelagem e Avaliação de Desempenho de Redes de Computadores. E-mail: salgueiro@ufs.br