



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TECNOLOGIA
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

BRUNO EMER

Implementação de alta
disponibilidade em uma empresa
prestadora de serviços para Internet

André Luis Martinotto
Orientador

Caxias do Sul
Abril de 2016

Implementação de alta disponibilidade em uma empresa prestadora de serviços para Internet

por

Bruno Emer

Projeto de Diplomação submetido ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Centro de Ciências Exatas e da Tecnologia da Universidade de Caxias do Sul, como requisito obrigatório para graduação.

Projeto de Diplomação

Orientador: André Luis Martinotto

Banca examinadora:

Maria de Fatima Webber do Prado Lima

CCTI/UCS

Ricardo Vargas Dorneles

CCTI/UCS

Projeto de Diplomação apresentado em
x de x de 2016

Daniel Luís Notari
Coordenador

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	5
RESUMO	6
1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Objetivos	8
2 ALTA DISPONIBILIDADE	9
2.1 Tolerância a falhas	9
2.1.1 Fases da tolerância a falhas	10
2.2 Redundância	11
2.3 Cálculo da alta disponibilidade	12
3 VIRTUALIZAÇÃO	14
3.1 Vantagens	15
3.2 Tipos de virtualização	15
3.3 Funcionamento	16
REFERÊNCIAS	17

LISTA DE SIGLAS

ECC	<i>Error correction code</i>
JVM	<i>Java virtual machine</i>
MTBF	<i>Mean time between failures</i>
MTTR	<i>Mean time to repair</i>
PC	<i>Personal computer</i>
RAID	<i>Redundant array of independent disks</i>
SLA	<i>Service level agreement</i>
SPOF	<i>Single point of failure</i>
TI	Tecnologia da informação
VM	<i>Virtual machine</i>
VMM	<i>Virtual machine monitor</i>

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Níveis de alta disponibilidade e exemplos de sistemas	12
---	----

RESUMO

Palavras-chave: .

1 INTRODUÇÃO

O crescente avanço tecnológico e o desenvolvimento da internet, provocou um aumento no número de aplicações ou serviços que dependem da infraestrutura de Tecnologia da informação (TI). Além disso, percebe-se um aumento significativo no número de operações e negócios *on-line* que são realizados, tanto por organizações públicas ou privadas, quanto por grande parte da sociedade.

Desta forma, a sociedade está cada vez mais dependente da tecnologia, de computadores e de sistemas. De fato, pode-se observar sistemas computacionais desde em uma farmácia, até em uma grande indústria. Sendo assim, a estabilidade e a disponibilidade destes sistemas tem uma grande importância em nosso dia-a-dia, pois um grande número de atividades cotidianas dependem deles.

Uma interrupção imprevista em um ambiente computacional poderá causar um prejuízo financeiro para a empresa que fornece o serviço, além de interferir na vida das pessoas que dependem de forma direta ou indireta deste serviço. Essa interrupção terá maior relevância para corporações cujo o serviço ou produto final é fornecido através da internet, como por exemplo, comércio eletrônico, *web sites*, sistemas corporativos, entre outros. Em um ambiente extremo, pode-se imaginar o caos e o possível risco de perda de vidas que ocorreria em caso de uma falha em um sistema de controle aéreo (COSTA, 2009).

Para essas empresas um plano de contingência é fundamental para garantir uma boa qualidade de serviço, além de otimizar o desempenho das atividades, e também para fazer uma prevenção de falhas e uma recuperação rápida caso essas ocorram (COSTA, 2009). De fato, hoje em dia a confiança em um serviço ou em um sistema é um grande diferencial para a empresa fornecedora deste serviço, sendo que a alta disponibilidade é fundamental para atingir este objetivo.

A alta disponibilidade consiste em manter um sistema disponível por meio da tolerância a falhas, isto é, utilizando mecanismos que fazem a detecção, mascaramento e a recuperação de falhas, sendo que esses mecanismos podem ser implementados a nível de *software* ou de *hardware* (REIS, 2009). Para que um sistema seja altamente disponível ele deve ser tolerante a falhas, sendo que a tolerância a falhas é implementada, frequentemente, utilizando redundância. No caso de uma falha em um dos componentes evita-se a interrupção do sistema, uma vez que o componente está replicado, ou seja, o sistema possui redundância (BATISTA, 2007).

Neste trabalho será realizado um estudo sobre a implementação de um sistema de alta disponibilidade em uma empresa de hospedagens. Essa empresa oferece serviços pela internet, como por exemplo hospedagens de sites, *e-mail*, sistemas de gestão, *e-mail marketing*, entre outros. A empresa possui aproximadamente 55 servidores físicos e virtuais, e aproximadamente 9000 clientes, sendo que em períodos de pico

atende em torno de 1000 requisições por segundo.

Atualmente, a empresa possui redundância de conexões de acesso a internet, refrigeração e energia, com *nobreaks* e geradores. Porém, essa empresa não possui nenhuma redundância nos serviços que estão sendo executados nos servidores. Desta forma, caso ocorra uma falha de *software* ou de *hardware*, os serviços ficarão indisponíveis. Neste trabalho será realizada uma análise dos serviços oferecidos pela empresa, sendo que mecanismos de alta disponibilidade serão desenvolvidos para os serviços mais críticos. Para a redução dos custos serão utilizadas ferramentas gratuitas e de código aberto.

1.1 Objetivos

Atualmente a empresa estudada não possui nenhuma solução de alta disponibilidade para seus serviços críticos. Desta forma, neste trabalho será desenvolvida uma solução de alta disponibilidade para estes serviços, sendo que essa solução será baseada no uso de ferramentas de código aberto e de baixo custo.

Para que o objetivo geral seja atendido os seguintes objetivos específicos deverão ser realizados:

- Identificar os serviços críticos a serem integrados ao ambiente de alta disponibilidade;
- Definir as ferramentas a serem utilizadas para implementar tolerância a falhas;
- Realizar testes para a validação do sistema de alta disponibilidade que foi desenvolvido.

2 ALTA DISPONIBILIDADE

Alta disponibilidade é um termo muito conhecido, sendo cada vez mais empregada nos ambientes computacionais. O objetivo de promover alta disponibilidade resume-se em garantir que um serviço esteja sempre disponível quando o cliente solicitar ou acessar (COSTA, 2009). A alta disponibilidade é definida como a redundância de *hardware* ou de *software* para que o serviço fique mais tempo disponível. Quanto maior for a disponibilidade desejada maior deverá ser a redundância no ambiente, assim reduzindo os pontos únicos de falha, que em inglês são chamados de *Single point of failure* (SPOF). A alta disponibilidade está diretamente relacionada a:

- Dependabilidade: indica a qualidade do serviço fornecido e a confiança depositada neste serviço. A dependabilidade envolve atributos como segurança de funcionamento, segurança de acesso, manutenibilidade, testabilidade e comprometimento do desempenho (WEBER, 2002);
- Confiabilidade: é o atributo mais importante, pois transmite a ideia de continuidade de serviço (PANKAJ, 1994). A confiabilidade refere-se a probabilidade de um serviço funcionar corretamente durante um dado intervalo de tempo;
- Disponibilidade: é a probabilidade de um serviço estar operacional no instante em que for solicitado (COSTA, 2009);
- Tolerância a falhas: procura garantir a disponibilidade de um serviço utilizando mecanismos capazes de detectar, mascarar e recuperar falhas, e seu objetivo é alcançar a dependabilidade, assim indicando uma boa qualidade de serviço (COSTA, 2009). A tolerância a falhas é um dos principais conceitos da alta disponibilidade, sendo assim será melhor discutida na Seção 2.1.

2.1 Tolerância a falhas

Sabe-se que o *hardware* tende a falhar, principalmente devido a fatores físicos, por isso utiliza-se métodos para a prevenção de falhas e para a tolerância a falhas. A abordagem prevenção de falhas define-se como um projeto feito na criação de componentes para impedir que futuras falhas ocorram. Além disso, a prevenção de falhas melhora a disponibilidade e a confiabilidade de um serviço, isto é, tem como objetivo prever e eliminar o maior número de falhas possíveis antes de colocar o sistema em uso. Mas essa prevenção não resolverá todas as possíveis falhas. Sendo assim, a tolerância a falhas fornece disponibilidade de um serviço mesmo com a presença de falhas. Enquanto a prevenção de falhas tem foco nas fases de projeto,

teste e validação, a tolerância a falhas tem como foco na utilização de componentes replicados para mascarar as falhas (PANKAJ, 1994).

O objetivo da tolerância a falhas é aumentar a disponibilidade de um sistema, isto é, aumentar o tempo que os serviços fornecidos ficam disponíveis aos clientes ou usuários. Um sistema é dito tolerante a falhas se ele pode mascarar a presença de falhas ou recuperar-se de uma falha sem afetar o funcionamento do sistema. A tolerância a falhas é implementada utilizando redundância, que será detalhada na Seção 2.2. Um exemplo que frequentemente pode ser visto em uma grande variedade de empresas é a utilização de virtualização para tornar um sistema ou serviço tolerante a falhas. Nestes ambientes normalmente existem dois servidores nos quais máquinas virtuais estão executando, caso um dos servidores falhe por um motivo qualquer, o *software* de monitoramento fará a transferência das máquinas virtuais automaticamente para o outro servidor evitando assim a indisponibilidade do serviço. Este tema, virtualização, será detalhado no Capítulo 3.

A tolerância a falhas pode ser dividida em dois tipos que são: mascaramento; detecção, localização e reconfiguração. O primeiro tipo, o mascaramento, não se manifesta na forma de erro sendo assim não necessita que o sistema trate este erro, pois as falhas são tratadas na origem. O mascaramento é utilizado principalmente em sistemas de tempo real crítico. Um exemplo são os códigos de correção de erros, em inglês *Error correction code* (ECC), que são utilizados em memórias para detecção e correção de erros. No segundo tipo consiste em detectar, localizar e reconfigurar o *software* ou *hardware* e por fim resolver a falha (WEBER, 2002). O último tipo será melhor detalhado na Seção 2.1.1.

2.1.1 Fases da tolerância a falhas

A classificação das fases de tolerância a falhas mais comuns são detecção, confinamento, recuperação e tratamento (WEBER, 2002).

- **Detecção:** realiza o monitoramento e aguarda uma falha se manifestar na forma de erro, para então passar para a próxima fase. Um exemplo de detecção de erro é o cão de guarda (*watchdog timer*), que recebe um sinal do programa ou serviço que esta sendo monitorado e caso este sinal não seja recebido, devido alguma falha, o *watchdog* irá se manifestar na forma de erro. Outro exemplo é o esquema de duplicação e comparação, onde é feito operações em componentes replicados com mesmos dados de entrada, e então seus dados de saída são comparados, assim se houver alguma diferença um erro é gerado.
- **Confinamento:** responsável pela restrição de um erro para que dado inválidos não se propaguem para todo o sistema, pois entre a falha e a detecção do erro há um intervalo de tempo. Neste intervalo pode ocorrer a propagação do erro para outros componentes do sistema, sendo assim antes de executar medidas corretivas é necessário definir os limites da propagação. Na fase de projeto essas restrições devem ser previstas e tratadas. Um exemplo de confinamento é o isolamento de processos de um sistema operacional, onde existe restrições para que um processo não gere problemas em outro processo, com isso as falhas de um programa estão restritas ao processo.
- **Recuperação:** após a detecção de um erro ocorre a recuperação, onde o estado de erro é alterado para estado livre de erros. A recuperação pode ser feita de duas formas, que são:

- *forward error recovery* (recuperação por avanço): ocorre uma condução para um novo estado não ocorrido anteriormente. É a forma de recuperação mais eficiente, porém mais complexo de ser implementado pois a ação deve ser precisa.
 - *backward error recovery* (recuperação por retorno): ocorre um retorno para um estado anterior que deve estar livre de erros. Para retornar ao estado anterior pode ser utilizado pontos de recuperação (*checkpoints*), e quando ocorrer um erro, um *rollback* é executado, ou seja, retornará a um estado anterior a falha.
- Tratamento: procura prevenir que futuros erros aconteçam. Nesta fase ocorre a localização da falha para descobrir o componente que originou a falha. A substituição do componente danificado pode ser feita de duas formas, manual ou automática. O reparo manual é feito por um operador, e o automático quando existe um componente em espera para substituição. Exemplo de um reparo manual é um operador que efetua a troca de um disco de um servidor. E um exemplo de reparo automático é um disco configurado como *hot spare*, ou seja, um componente de *backup* que assumirá o lugar do outro imediatamente após o componente principal falhar. Em *storages* ou servidores o *hot spare* pode ser configurado através de um *Redundant array of independent disks* (RAID) (ROUSE, 2013).

2.2 Redundância

Redundância pode ser feita através da replicação de componentes, para reduzir o número de SPOF e garantir o mascaramento de falhas. Na prática, se um componente falhar ele deve ser reparado ou substituído por um novo, sem que haja uma interrupção no serviço. A redundância pode ser implementada ainda através do envio de sinais ou *bits* de controle junto aos dados, servindo assim para detecção de erros e até para correção (WEBER, 2002). Segundo (NØRVÅG, 2000) existem quatro tipos diferentes de redundância que são:

- *Hardware*: utiliza-se a replicação de componentes, sendo que caso um falhe outro possa assumir seu lugar. Para fazer a detecção de erros a saída de cada componente é constantemente monitorada e comparada à saída de outros componentes. Um exemplo prático de redundância de *hardware* são os servidores com fontes redundantes. Nestes são utilizadas duas fontes ligadas em paralelo, sendo que caso uma falhe a outra suprirá a necessidade de todo o servidor;
- Informação: ocorre quando uma informação extra é enviada ou armazenada para possibilitar a detecção e correção de erros. Um exemplo clássico são os *checksums* (soma de verificação). Esses são calculados antes da transmissão ou armazenamento dos dados e recalculado ao recebê-los ou recuperá-los, assim sendo possível verificar a integridade dos dados. Outro exemplo bastante comum são os *bits* de paridade que são utilizados para detectar falhas que afetam apenas um *bit* (WEBER, 2002);
- *Software*: pode-se definir redundância de *software* como uma configuração de um serviço ou *software* em dois ou mais locais diferentes. Como por exemplo um sistema gerenciador de banco de dados *MySQL* configurado para replicação

Tabela 2.1: Níveis de alta disponibilidade e exemplos de sistemas

Nível	Uptime	Downtime por ano	Exemplos
1	90%	36.5 dias	computadores pessoais
2	98%	7.3 dias	
3	99%	3.65 dias	sistemas de acesso
4	99.8%	17 horas e 30 minutos	
5	99.9%	8 horas e 45 minutos	provedores de acesso
6	99.99%	52.5 minutos	CPD, sistemas de negócios
7	99.999%	5.25 minutos	sistemas de telefonia ou bancários
8	99.9999%	31.5 minutos	sistemas de defesa militar

do tipo *master-slave*, onde possui um servidor principal (*master*) que grava as operações em um arquivo, para então os servidores *slaves* recuperarem essas operações e assim mantendo os dados replicados. Tanto no *master* quanto nos *slaves* executam o serviço *MySQL* caracterizando assim a redundância (SILVA VIANA, 2015). Outra maneira de implementar redundância de *software* é através da replicação do mesmo *software*, que não é muito útil pois replicando um *software* as falhas ou *bugs* estarão presentes em todas as replicas. Para *softwares* muito críticos existem algumas técnicas que podem ajudar com esse problema. A programação de *n*-versões é uma delas, que consiste em criar *n* versões para um mesmo *software*. Desta forma, possibilita-se o aumento da disponibilidade, uma vez que elas provavelmente não apresentarão os mesmos erros. Por outro lado a programação de *n*-versões possui um custo muito elevado devido a complexidade da sua manutenção.

- Tempo: este é feito através da execução de um conjunto de instruções várias vezes no mesmo componente, assim detectando uma falha caso ocorra. Essa técnica necessita tempo adicional, e é utilizada onde o tempo não é crítico. Por exemplo, um *software* de monitoramento de serviços e servidores, que faz um teste em cada serviço e caso ocorra uma falha o *software* poderá executar uma ação corretiva para reestabelecer o serviço. Essa técnica, diferentemente da redundância de *hardware* e informação, não requer um *hardware* extra para sua implementação (COSTA, 2009).

2.3 Cálculo da alta disponibilidade

Um aspecto importante sobre alta disponibilidade é como medi-la. Para isso são utilizados os valores de *uptime* e *downtime*, que são respectivamente, o tempo que os serviços estão funcionando normalmente e o tempo que não estão funcionando. A alta disponibilidade pode ser expressa pela quantidade de “noves”, isto é, se um serviço possui quatro noves de disponibilidade, este possui uma disponibilidade de 99,99% (PEREIRA FILHO, 2004).

A Tabela 2.1 apresenta alguns níveis de disponibilidade, a sua porcentagem do *Uptime*, o *Downtime* por ano e a última coluna possui alguns exemplos de serviços relacionados ao nível de disponibilidade. Pode-se observar que para alguns serviços, como por exemplo sistemas bancários ou sistemas militares é necessário um alto

nível de disponibilidade (PEREIRA FILHO, 2004).

A porcentagem de disponibilidade pode ser calculada através da equação

$$d = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \quad (2.1)$$

onde *Mean time between failures* (MTBF) é o tempo médio entre falhas, ou seja, esse corresponde ao tempo médio entre as paradas de um serviço. Já o *Mean time to repair* (MTTR) é o tempo médio de recuperação, isto é, o tempo entre a queda e a recuperação de um serviço (GONÇALVES, 2009).

A alta disponibilidade é um dos principais fatores que fornece confiança aos clientes ou usuários, sendo extremamente importante em empresas que fornecem serviços *on-line*. Por isso existe o *Service level agreement* (SLA), que é um acordo de nível de serviço, que garante que o serviço fornecido atenda as expectativas dos clientes. Um SLA é um documento contendo uma descrição e uma definição das características mais importantes do serviço que será fornecido. Esse acordo também deve conter o nível de serviço exigido pelo negócio, isto é, a porcentagem da disponibilidade exigida, sendo que esta deve ser minuciosamente definido. Por exemplo, um SLA pode conter descrição do serviço, requerimentos, horário de funcionamento, entre outros (SMITH, 2010).

3 VIRTUALIZAÇÃO

O conceito virtualização surgiu na década de 60, sendo que muitas vezes havia a necessidade de cada usuário utilizar um ambiente individual com suas próprias aplicações e totalmente isolado dos outros usuários. Sabendo que naquela época era utilizado grandes servidores, conhecidos como *mainframes*, para a execução dessas aplicações, assim aproveitando ineficientemente o *hardware*. Por esse motivo houve a necessidade da criação de máquinas virtuais, mais conhecida como *Virtual machine* (VM), que teve forte expansão com um dos principais sistemas comerciais com suporte a virtualização, sistema operacional *370* que foi desenvolvido pela *IBM*. Na década de 80, houve uma redução da utilização da virtualização devido a popularização de *hardware* barato como o *Personal computer* (PC). Na época era mais vantajoso colocar um PC para cada usuário, do que investir em caros e complexos *mainframes*. Devido ao crescente avanço e melhor desempenho do PC e ao surgimento da linguagem *Java*, no início da década de 90, a tecnologia de virtualização retornou com o conceito de virtualização de aplicação (LAUREANO; MAZIERO, 2008).

A virtualização foi definida nos anos 60 e 70 como uma camada entre o *hardware* e o sistema operacional que possibilitava a divisão e proteção dos recursos físicos. Porém, atualmente ela engloba outros conceitos, como por exemplo a *Java virtual machine* (JVM), que não virtualiza um *hardware*. Atualmente pode-se definir virtualização como uma camada de *software* que utiliza os serviços fornecidos de uma determinada interface de sistema para criar outra interface de mesmo nível, com isso poderá suprir a necessidade dos componentes do sistema que irão utilizá-la. Essa camada irá permitir a comunicação entre interfaces distintas, de forma que uma aplicação desenvolvida para uma plataforma *X* possa também executar em uma plataforma *Y* (LAUREANO; MAZIERO, 2008).

Um ambiente de virtualização é composto basicamente por três componentes:

- Sistema real: também pode ser chamado de hospedeiro, que é o *hardware* onde o sistema de virtualização irá executar;
- Camada de virtualização: é conhecida como hipervisor ou também chamado de *Virtual machine monitor* (VMM), tem como função criar interfaces virtuais a partir de interfaces físicas para a comunicação do sistema real com o sistema virtual;
- Sistema virtual: também conhecido como *guest*, ou sistema convidado, que executa sobre o sistema real. Geralmente existem vários sistemas virtuais executando simultaneamente sobre o sistema real.

Máquinas virtuais podem ser divididas em dois grupos: máquinas virtuais de aplicação e máquinas virtuais de sistema. A primeira faz a virtualização de uma aplicação, suporta apenas um processo ou aplicação. Um exemplo de máquina virtual de aplicação é a JVM. A máquina virtual de sistema suporta sistemas operacionais convidados, com suas aplicações executando sobre ele. Um exemplo é o sistema *VMware* (LAUREANO; MAZIERO, 2008). Virtualização de sistema utiliza abstração em sua arquitetura, por exemplo, ela transforma um disco físico em dois discos virtuais menores, sendo que esses discos virtuais são arquivos armazenados no disco físico. Sabendo que arquivos são uma abstração em um disco físico, pode-se dizer que virtualização não é apenas uma camada de abstração do *hardware*, ela faz a reprodução do *hardware* (SMITH; NAIR, 2005). Existem várias formas de implementar a virtualização, por isso elas serão detalhas na Seção 3.2.

3.1 Vantagens

Em muitos casos empresas utilizam serviços distribuídos entre servidores físicos, como, por exemplo, servidores de e-mail, hospedagens e banco de dados, com isso existe uma ociosidade grande de recursos. Portanto uma das grandes vantagens da virtualização é um melhor aproveitamento destes recursos, alocando vários serviços em um único servidor gerando um melhor aproveitamento do *hardware* (MOREIRA, 2006). Além disso, pode-se ter uma redução de custos com a administração e a manutenção dos servidores. Em um ambiente heterogêneo pode-se também utilizar virtualização, pois ela permite a instalação de diversos sistemas operacionais em um único servidor.

Uma outra motivação para a utilização de virtualização consiste no custo da energia elétrica. A economia de energia pode ser obtida através da implantação de servidores mais robustos para substituir dezenas de servidores comuns. Outros fatores como refrigeração do ambiente e espaço físico utilizado também podem ser reduzidos com a implantação de virtualização de servidores, e conseqüentemente, reduzem os custos de energia também.

A virtualização favorece a implementação do conceito um servidor por serviço, que consiste em ter um servidor para cada serviço. Mas porque não colocar todos serviços em um único servidor? Muitas vezes com uma variedade de serviços é necessário diferentes sistemas operacionais, ou os serviços necessitam rodar nas mesmas portas, portanto isto se torna inviável. Outro fator relevante que também favorece a implementação de um servidor por serviço é, caso exista uma falha de segurança em apenas um serviço, essa vulnerabilidade poderá comprometer todos os outros serviços (CARISSIMI, 2008).

3.2 Tipos de virtualização

- Emulação
- Virtualização completa
- Paravirtualização
- Virtualização baseada em contêineres

ver jvm e wine

3.3 Funcionamento

** Anéis de privilégios, compatibilidade, e hypervisor (GONÇALVES, 2009).

REFERÊNCIAS

BATISTA, A. C. **Estudo teórico sobre cluster linux**. 2007. Pós-Graduação(Administração em Redes Linux) — Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

CARISSIMI, A. Virtualização: da teoria a soluções. In: **Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**. Porto Alegre: XXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2008.

COSTA, H. L. A. **Alta disponibilidade e balanceamento de carga para melhoria de sistemas computacionais críticos usando software livre**: um estudo de caso. 2009. Pós-Graduação em Ciência da Computação — Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

GONÇALVES, E. M. **Implementação de Alta disponibilidade em máquinas virtuais utilizando Software Livre**. 2009. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia da Computação) — Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília.

LAUREANO, M. A. P.; MAZIERO, C. A. Virtualização: conceitos e aplicações em segurança. In: **Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais**. Gramado - Rio Grande do Sul: VIII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais, 2008.

MOREIRA, D. **Virtualização**: rode vários sistemas operacionais na mesma máquina. <Disponível em: <http://idgnow.com.br/ti-corporativa/2006/08/01/idgnoticia.2006-07-31.7918579158/#&panel1-3>>. Acesso em 5 de abril de 2016.

NØRVÂG, K. **An Introduction to Fault-Tolerant Systems**. 2000. IDI Technical Report 6/99 — Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Noruega.

PANKAJ, J. **Fault tolerance in distributed system**. Nova Jérsei, Estados Unidos: P T R Prentice Hall, 1994.

PEREIRA FILHO, N. A. **Serviço de pertinência para clusters de alta disponibilidade**. 2004. Dissertação para Mestrado em Ciência da Computação — Universidade de São Paulo, São Paulo.

REIS, W. S. dos. **Virtualização de serviços baseado em contêineres**: uma proposta para alta disponibilidade de serviços em redes linux de pequeno porte. 2009. Monografia Pós-Graduação(Administração em Redes Linux) — Apresentada ao Departamento de Ciência da Computação, Minas Gerais.

ROUSE, M. **Hot spare**. <Disponível em: <http://searchstorage.techtarget.com/definition/hot-spare>>. Acesso em 12 de abril de 2016.

SILVA VIANA, A. L. da. **MySQL**: replicação de dados. <Disponível em: <http://www.devmedia.com.br/mysql-replicacao-de-dados/22923>>. Acesso em 21 de abril de 2016.

SMITH, J. E.; NAIR, R. The architecture of virtual machines. **IEEE Computer**, [S.l.], v.38, p.32–38, 2005.

SMITH, R. **Gerenciamento de Nível de Serviço**. <Disponível em: <http://blogs.technet.com/b/ronaldosjr/archive/2010/05/25/gerenciamento-de-n-237-vel-de-servi-231-o.aspx/>>. Acesso em 25 de março de 2016.

WEBER, T. S. **Um roteiro para exploração dos conceitos básicos de tolerância a falhas**. 2002. Curso de Especialização em Redes e Sistemas Distribuídos — UFRGS, Rio Grande do Sul.