UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS

Leonardo Pancieri Ferreira de Freitas

Análise de Mecanismos de Replicação de Dados
para Grades de Computadores

São Carlos
2010

LEONARDO PANCIERI FERREIRA DE FREITAS

Análise de Mecanismos de Replicação de Dados para Grades de Computadores.

Dissertação Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Física do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de
São Paulo para a obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Física Computacional

Orientador: Prof. Dr. Gonzalo Travieso

**São Carlos
2010**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca e Informação IFSC/USP

Freitas, Leonardo Pancieri Ferreira de

Análise de mecanismos de replicação de dados para grades de computadores / Leonardo Pancieri Ferreira de Freitas; orientador Gonzalo Traviesso.-- São Carlos, 2010.

101 p.

Dissertação (Mestrado em Ciência - Área de concentração: Física Computacional) – Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo.

1. Grades de dados. 2. Replicação de dados. 3. Políticas de replicação. 4. Políticas de substituição. 5. Políticas de busca I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Leonardo Pancieri Ferreira de Freitas

Dissertação apresentada ao Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Física Aplicada –
Opção: Física Computacional

Aprovado em: 28/04/2010

Comissão Julgadora

Profa. Dra. Liria Matsumoto Sato

Instituição: EP/USP

Assinatura Liria Matsumoto Sato

Prof. Dr. Jose Hiroki Saito

Instituição: UFSCar

Assinatura Jose Hiroki Saito

Prof. Dr. Gonzalo Travieso

Instituição: IFSC/USP

Assinatura Gonzalo Travieso

“O mais importante é invisível...” – Antoine de Saint Exupéry.

AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador, amigo e orientador Gonzalo Travieso, que me apoiou e orientou.

Ao Instituto de Física de São Carlos, por me acolher de maneira receptiva e calorosa durante toda a minha formação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudos.

À minha família, José Carlos, Maria Marta e Laís, pela paciência e confiança.

À minha namorada Camila pelo apoio em todos os momentos.

Aos meus amigos pelo companheirismo e apoio em todas as horas.

E a todos que, de alguma maneira ou outra, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

FREITAS, L. P. F. **Análise de mecanismos de replicação de dados para grades de computadores.** 2010. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

Uma grade de dados (*datagrid*) é um ambiente computacional distribuído destinado a agregar e compartilhar recursos de armazenamento que estão geograficamente separados. As grades de dados provêm infra-estrutura e serviços para descoberta, transferência, manipulação e gerenciamento de grandes quantidades de dados armazenados em repositórios distribuídos. As grades de dados possuem características em comum com redes *peer-to-peer*, bancos de dados distribuídos e redes de distribuição de conteúdo (CDN). Muitas das políticas de replicação, substituição e busca utilizadas nestas redes são comuns com as de grades de dados. O foco deste trabalho é estudar a influência das políticas (replicação, substituição e busca), topologias de rede e interação entre políticas no desempenho para armazenamento, busca de arquivos, sobrevivência de réplicas e tráfego de rede. O estudo também considera as interações das diversas políticas com estrutura topológicas da rede e falhas em nós. A metodologia adotada para realizar avaliações no trabalho foi a simulação. Com o simulador foi possível concentrar os estudos nas relações entre as políticas e topologias de rede, evitando complexidade de uma grade como heterogeneidade de recursos. Nos resultados foram encontrados efeitos importantes de características topológicas em redes e sua interação com políticas utilizadas no desempenho da grade.

Palavras Chave: grades de dados, replicação de dados, políticas de replicação, políticas de substituição, políticas de busca

ABSTRACT

FREITAS, L. P. F. **Analysis of data replication mechanisms for grid computing.** 2010. 101 p. Dissertation (Master) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

A datagrid is an distributed computing environment designed to aggregate and share storage resources that are geographically distant. Datagrids provides infrastructure and services for discovery, transfer, handling and managing large amounts of data stored in distributed repositories. The datagrids share characteristics with *peer-to-peer* networks, distributed databases and content distribution networks (CDN). Many of the replication, placement and search policies used in these networks are common with datagrids. The focus of this work is to study the influence of policies (replication, placement and search), network topologies and their interaction on the performance for storage, file searching, replica survival and network traffic. This research also considers the interactions of various policies with topologies of networks under node failures. The methodology adopted to carry out the evaluation in this work is the use of simulation. With a simulator it is possible to concentrate studies on the relationships between policies and network topologies, avoiding the complexity of a grid with heterogeneous resources. Results show significant effects on grid performance of topological features of the networks and its interaction with policies.

Keywords: datagrids, data replication, replication strategies, placement strategies, search strategies

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Visão de uma grade de dados sem fronteiras geográficas.	28
Figura 3.1 – Modelo de rede monadico.	35
Figura 3.2 – Modelo de rede hierárquico.	36
Figura 3.3 – Modelo de rede federação.	37
Figura 3.4 – Modelo de rede híbrido.	38
Figura 3.5 – Rede de <i>overlay</i>	38
Figura 3.6 – Modelos de topologias estruturadas.	39
Figura 3.7 – Rede aleatória de Erdős-Rényi.	41
Figura 3.8 – Construção do modelo de Barabási-Albert.	42
Figura 4.1 – Busca por <i>flooding</i>	44
Figura 4.2 – Busca por passeio aleatório em uma rede Barabási-Albert.	45
Figura 4.3 – Replicação Passiva.	47
Figura 4.4 – Replicação pelo caminho da busca.	47
Figura 4.5 – Replicação pelo caminho da busca com probabilidade.	48
Figura 4.6 – Substituição aleatória.	49
Figura 4.7 – Funcionamento de uma fila (FIFO).	50
Figura 5.1 – Agenda de eventos.	52
Figura 6.1 – Proporção entre o tráfego gerado por busca para cada topologia de rede e política de busca.	62
Figura 6.2 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Estrela com 50 buscas.	63
Figura 6.3 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Estrela com 800 buscas	64
Figura 6.4 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Anel com 50 buscas	65
Figura 6.5 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Anel com 800 buscas	66
Figura 6.6 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Árvore com 50 buscas	67
Figura 6.7 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Árvore com 800 buscas	68

Figura 6.8 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 50 buscas . . .	69
Figura 6.9 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 800 buscas . . .	70
Figura 6.10 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 50 buscas	71
Figura 6.11 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 800 buscas	72
Figura 6.12 – Arquivos Perdidos x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 800 buscas . . .	75
Figura 6.13 – Arquivos Perdidos x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 800 buscas . . .	76
Figura 6.14 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Estrela com 50 buscas	80
Figura 6.15 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Estrela com 800 buscas	81
Figura 6.16 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Anel com 50 buscas	82
Figura 6.17 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Anel com 800 buscas	83
Figura 6.18 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Árvore com 50 buscas	84
Figura 6.19 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Árvore com 800 buscas	85
Figura 6.20 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 50 buscas . . .	86
Figura 6.21 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 800 buscas . . .	87
Figura 6.22 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 50 buscas	88
Figura 6.23 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 800 buscas	89
Figura 6.24 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Árvore com 800 buscas . . .	93
Figura 6.25 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 50 buscas	93
Figura 6.26 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 800 buscas	93
Figura 6.27 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 50 buscas . . .	94
Figura 6.28 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 800 buscas . . .	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Aplicações P2P.	32
Tabela 5.1 – Topologias de rede utilizadas.	53
Tabela 5.2 – Políticas utilizadas na simulação.	55
Tabela 6.1 – Políticas utilizadas na simulação.	58
Tabela 6.2 – Comparação entre políticas de busca em modelos de topologia.	77

LISTA DE SIGLAS

P2P	<i>peer-to-peer</i>
LHC	Large Hadron Collider
CDN	Content Delivery Network
DNS	Domain Name System
GB	Gigabytes
TB	Terabytes
PB	Petabytes

SUMÁRIO

1	Introdução	25
1.1	Introdução às grades de computadores	25
2	Grades de Dados	27
2.1	Grades de Dados	27
2.2	Rede de Distribuição de Conteúdo	30
2.3	Bancos de Dados Distribuídos	31
2.4	Redes P2P	32
2.5	Convergência entre Grades de dados e redes P2P	33
3	Modelos de Grades de Dados	34
3.1	Modelos de Topologias de Grades de dados	34
3.2	Monadico	34
3.3	Hierárquico	35
3.4	Federação	36
3.5	Híbrido	37
3.6	Redes de <i>Overlay</i>	38
3.7	Topologias estruturadas	39
3.8	Modelo de estrela	39
3.9	Modelo de anel	40
3.10	Modelo de árvore	40
3.11	Topologias não estruturadas	41
3.12	Modelo de Erdős-Rényi	41
3.13	Modelo de rede Barabási-Albert	42
4	Descoberta e Replicação de Dados	43
4.1	Políticas de Busca	43
4.2	Flooding	43

4.3	Passeio Aleatório	44
4.4	Políticas de Replicação	46
4.5	Passiva	46
4.6	Caminho da Busca	47
4.7	Caminho da Busca com Probabilidade	48
4.8	Políticas de Substituição	48
4.9	Aleatório	49
4.10	FIFO	49
5	Simulação	51
5.1	Simulador	51
5.2	Gerador de redes de <i>overlay</i>	53
5.3	Distribuição inicial de arquivos	53
5.4	Falhas	54
5.5	Políticas	55
6	Resultados	56
6.1	Tráfego de rede	59
6.2	Efeito das políticas de busca no tráfego de rede	59
6.3	Efeito das políticas de replicação nsec:efbuscatrafegoo tráfego de rede	60
6.4	Efeito das políticas de substituição no tráfego de rede	61
6.5	Efeito das topologias de rede no tráfego de rede	61
6.6	Sobrevivência de Réplicas	73
6.7	Efeito das políticas de busca na sobrevivência de réplicas	73
6.8	Efeito das políticas de replicação na sobrevivência de réplicas	74
6.9	Efeito das políticas de substituição na sobrevivência de réplicas	74
6.10	Efeito das topologias de rede na sobrevivência de réplicas	75
6.11	Localização de Arquivos	77
6.12	Efeito das políticas de busca na localização de arquivos	77
6.13	Efeito das políticas de replicação na localização de arquivos	78
6.14	Efeito das políticas de substituição na localização de arquivos	79

6.15	Efeito das topologias de rede na localização de arquivos	79
6.16	Utilização de Recursos de Armazenamento	90
6.17	Efeito das políticas de busca na utilização de recursos de armazenamento . . .	90
6.18	Efeito das políticas de replicação na utilização de recursos de armazenamento .	91
6.19	Efeito das políticas de substituição na utilização de recursos de armazenamento	91
6.20	Efeito das topologias de rede na utilização de recursos de armazenamento . . .	92
7	Conclusões e Trabalhos Futuros	95
7.1	Conclusões	95
7.2	Trabalhos Futuros	96
	Refêrencias	99

Capítulo 1

Introdução

1.1 Introdução às grades de computadores

O surgimento dos computadores revolucionou a ciência por possibilitar a solução de problemas antes não resolvidos. Dentre estes pode-se citar: problemas que envolvem grande quantidade de modelos inter-relacionados, não-lineares, caóticos e outros que envolvem grande quantidade de dados. Estes últimos apresentam, particularmente, interesse ao presente trabalho (Neste caso, o computador é utilizado tanto para processar os dados quanto para coletá-los e armazená-los).

Problemas que manipulam uma grande quantidade de dados muitas vezes estão relacionados com extensos trabalhos colaborativos, cujos pesquisadores de diversas instituições interagem tanto na coleta quanto na análise de dados (1). Em alguns casos, como experimentos de alto *throughput* em biologia e coleta de dados astronômicos, a quantidade de dados gerados pode atingir de gigabytes até terabytes diariamente (2). Como os pesquisadores colaboradores estão em instituições distintas e, muitas vezes, geograficamente separadas, a coleta e análise dos dados são feitas de forma naturalmente distribuída. Para evitar que dados sejam armazenados de forma centralizada e que, conseqüentemente, introduzam limitações e atrasos desnecessários, utiliza-se a grade computacional de dados como uma das formas mais apropriadas para armazenamento distribuído (*datagrid*) (3).

A computação em grade adota o compartilhamento e reutilização de recursos compu-

tacionais como fonte para obtenção de alto desempenho. Dentre os exemplos de grade em desenvolvimento destaca-se: *Large Hadron Collider (LHC)*, *Folding@Home* e *Genome@Home* (4). Outros exemplos da utilização de grades computacionais em trabalhos científicos podem ser encontrados em (5).

A utilização das grades de dados permite eliminar a dependência de um único ponto de acesso, o que aumenta o desempenho e facilita a inclusão de novos colaboradores. Por outro lado, é comum que alguns dos computadores participantes sejam desconectados, devido à necessidade de manutenção, como problemas internos ou ainda na rede de interconexão. Estas falhas podem interferir no comportamento do sistema, já que os dados contidos em nós desconectados podem ser de grande importância à colaboração. Outro fator importante no acesso aos dados, que pode prejudicar o desempenho, é a latência de acesso entre nós distantes que participam da colaboração.

Um método para lidar com falhas num sistema distribuído é a utilização da replicação de dados(6). Cada conjunto de dados possui cópias em diversos nós da rede, se um desses nós falhar, outro pode fornecer o mesmo conjunto de dados quanto for solicitado. Outra vantagem da replicação de dados é a diminuição do tempo de espera quando é solicitado à rede um dado, pois o nó mais próximo ao requisitante é quem atende. Com a replicação, a carga de acesso aos dados é melhor distribuída.

Os problemas tratados em uma grade computacional são similares aos de sistemas *peer-to-peer* (7), e as técnicas utilizadas na distribuição de conteúdo nessas redes (8) podem ser adaptadas para a replicação de dados em grades.

Capítulo 2

Grades de Dados

2.1 Grades de Dados

O conceito grades de dados origina-se da computação em grade ou grades de computadores. Esta é um ambiente distribuído destinado a agregar e compartilhar recursos computacionais que estão geograficamente separados (9). Dentre os recursos compartilhados, encontram-se máquinas heterogêneas para processamento e armazenamento de dados, também são compartilhadas redes de intercomunicação. O ambiente de computação em grade provê acesso único, seguro e transparente aos recursos.

A maioria das aplicações executadas em grades de computadores utiliza ou produz quantidades massivas de dados. As grades de dados surgem provendo infra-estrutura e serviços para descoberta, transferência, manipulação e gerenciamento de grandes quantidades de dados (10). Estes se encontram armazenados em repositórios distribuídos, podendo existir replicas, do mesmo conjunto de dados, armazenadas em locais distintos. As redes peer-to-peer de compartilhamento (Gnutella, Kazaa), redes de distribuição de conteúdo (CDN)(Akamai, Speedera) e bancos de dados distribuídos (Oracle DDB, IBM DB2 DDB) são modelos de infra-estrutura para manipulação de dados que possuem características semelhantes às grades de dados.

Uma grade de dados disponibiliza serviços que facilitam a manipulação, descoberta e transferência de grandes quantidades de dados, armazenados em repositórios distribuídos,

e também a criação e gerenciamento de réplicas dos conjuntos de dados. As grades de dados provêm duas funcionalidades básicas em primeira instancia; mecanismos de transferência de dados de alto desempenho e de gerenciamento e descoberta de recursos (10). Algumas aplicações que utilizam grades de dados requerem outros serviços, como mecanismos de redução, gerenciamento de metadados e consistência de réplicas.

Prover a integração de recursos de armazenamento é característica importante de uma grade de dados, é possível compartilhar recursos que não estão presentes na mesma rede. Um aspecto importante é a preservação dos dados e suas informações, independente de plataforma, uma vez que em uma grade de dados existem máquinas de diferentes plataformas cooperando. Na Figura 2.1, apresenta-se a visão de uma grade de dados que compartilha recursos de armazenamento entre diferentes países, estes interconectados por redes de alta velocidade.

Figura 2.1 – Visão de uma grade de dados sem fronteiras geográficas.

As grades de dados permitem aos usuários analisar e compartilhar dados com seus colaboradores, criando um ambiente de colaboração rico e sem fronteiras institucionais e geográficas. O exemplo mais citado para referenciar grades de dados foram criados para analisar os dados gerados pelos experimentos CMS (Compact Muon Solenoid), ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus), ALICE (A Large Ion Collider Experiment), e LHCb (LHC beauty), todos realizados no Large Hadron Collider (LHC) (11) no CERN. Estes experimentos envolvem milhares de físicos de várias instituições de todo o mundo, com isso serão replicados e analisados terabytes de dados por dia.

Os recursos de uma grade de dados são heterogêneos, referindo-se a sistemas operacionais (Linux, Windows, Unix, Solaris), hardware (arquitetura, capacidade de armazenamento, redes de interconexão) e disponibilidade para utilização. Todos estes recursos estão sob controle de administradores de domínios locais das instituições. Pode-se citar como características das grades de dados:

- Gerenciamento e agendamento de recursos, utilizando de modo eficiente os recursos disponíveis.
- Algumas aplicações que utilizam as grades utilizam e/ou geram conjuntos de dados de Gigabytes(GB) , Terabytes(TB) e até Petabytes(PB). Experimentos como os realizados no CMS no LHC produzem cerca de 1 PB de dados anualmente. O gerenciamento de recursos das grades de dados minimiza latência de transferências destas grandes quantidades de dados criando réplicas dos dados, de acordo com estratégias de replicação apropriadas.
- O compartilhamento de conjuntos de dados distribuídos também é função de uma grade de dados, assim pesquisadores podem utilizar o mesmo repositório como fonte de entrada e armazenamento dos dados das análises.
- A identificação dos dados na grade de dados é única, ou seja, o dado tem o mesmo nome lógico em toda a rede. É possível ter o mesmo dado em diferentes repositórios, e o nome físico do dado ser diferente em cada um, porém o nome lógico para referencia é o mesmo em toda a grade.
- Permissão para manipulação de dados pode ser atribuída com restrições de acesso a usuários, por exemplo, somente colaboradores de um projeto podem manipular dados específicos de acordo com suas permissões de acesso. Autenticações e permissões nas grades de dados envolvem controles de acesso que são compartilhados entre os repositórios.

Algumas das características das grades de dados podem depender da aplicação em que será utilizada, como por exemplo, em experimentos em astrofísica ou física de altas

energias em que dados são coletados através de instrumentos e armazenados em um único repositório. É possível criar réplicas deste repositório com permissão de acesso somente para leitura dos dados, posteriormente as atualizações do repositório principal são propagadas para as réplicas pelo mecanismo de replicação ou serviço de gerenciamento de consistência da grade de dados.

Alguns paradigmas possuem similaridades com as grades de dados como serviços e requisitos. Nas próximas seções são apresentados três destes paradigmas.

2.2 Rede de Distribuição de Conteúdo

Rede de distribuição de conteúdo (CDN) (12, 13) consiste de um conjunto de servidores mantidos para distribuir e balancear carga de acesso e transferência do conteúdo dos servidores originais, evitando congestionamentos e melhorando a entrega do serviço (14). Em uma CDN, a requisição de dados dos clientes é atendida por servidores que estão distribuídos pela Internet, estes contêm réplicas do conteúdo do servidor original. A requisição do cliente é transferida do servidor principal para outro servidor que esteja disponível e mais próximo ao cliente (13).

Em uma CDN, todo o trabalho de roteamento é realizado no servidor principal, este é um servidor de DNS (Domain Name System) responsável pela resolução do DNS da requisição do cliente e encaminhamento da mesma até o servidor mais apropriado. Caso o conteúdo requisitado não estiver disponível no servidor escolhido, este é entregue pelo servidor principal ou outro disponível.

O foco principal de uma CDN é o balanceamento de carga, diminuindo congestionamentos no servidor principal e conservando a banda de transmissão para conteúdos de streaming diminuindo latências dos servidores aos clientes. As CDN são mais utilizadas em provedores de conteúdo Web e provedores comerciais, como exemplo pode-se citar

Akamai, Speedera e IntelliDNS, todos possuem uma infra estrutura dedicada a atender múltiplos clientes. A restrição do modelo das CDN impede o crescimento do conceito na comunidade pois o conteúdo está disponível somente para leitura e a infra estrutura é mantida pelos próprios provedores, ou seja, é proprietária.

2.3 Bancos de Dados Distribuídos

Um banco de dados distribuído é uma coleção de dados organizada em diferentes servidores de uma rede (15). Cada servidor participante do banco possui sua autonomia local, é capaz de executar aplicações locais e também participar da colaboração de aplicações globais. Um banco de dados distribuído pode ser construído dos seguintes modos: participando uma coleção de dados que se encontra em um único banco em diversas máquinas da rede, esta abordagem é denominada *top-down*. Outro modo é integrar vários bancos de dados de uma rede através de um sistema de gerenciamento, criando uma interface de acesso uniforme, esta denominada *bottom-up*.

Os bancos de dados distribuídos emergiram pela necessidade de descentralização dos bancos de grandes organizações para facilitar inclusão de novos participantes e interconectar os bancos de cada instituição. Com a descentralização, é possível replicar bancos existentes melhorando a tolerância a falhas, tornando o sistema robusto. Como exemplos de bancos de dados existem os ambientes Oracle Distributed Database e IBM DB2 Distributed Database.

2.4 Redes P2P

As redes peer-to-peer (P2P) são formadas para agregar e compartilhar recursos computacionais (armazenamento, conteúdo, processamento) pela troca direta de informações, ao invés de necessitar intermediários ou servidores centrais. Os modelos P2P possuem como característica básica a habilidade de se auto-organizar e acomodar uma população altamente transiente de peers (máquinas participantes da rede), com tolerância a falhas devido a não haver necessidade de um servidor central (8).

Os peers intercomunicam-se através de mensagens, compartilhando recursos, informações e retransmitindo mensagens de outros peers. A população de peers é transiente, pois estes podem entrar e sair da rede a qualquer instante.

Os focos principais das redes P2P são escalabilidade, tolerância a falhas, redundância e anonimato. Devido à ausência de servidores centrais, as redes P2P podem crescer com facilidade.

Tabela 2.1 – Aplicações P2P.

Função	Descrição	Aplicações
Comunicação e Colaboração	batepapo <i>instant messaging</i>	IRC, MSN, Icq e Jabber
Computação Distribuída	utilização de ciclos de CPU não utilizados	SETI@Home Genome@home
Serviços de Suporte a Internet	sistemas de multicast e aplicações de proteção contra ataques <i>DOS</i> e vírus	
Sistemas de Banco de Dados	infra estrutura para pesquisas e mapeamento entre nós	PIER, The Piazza, Eduella
Distribuição de Conteúdo	compartilhamento de conteúdo (organização, indexação, publicação e pesquisa)	Napster, Publius, Gnutella, Freenet, MojoNation

As redes P2P podem ser utilizadas em diversas áreas do compartilhamento de recursos, na Tabela 2.1 são apresentadas as categorias, aplicações e exemplos de redes P2P. Segue abaixo uma pequena descrição de cada categoria:

Comunicação e Colaboração Provê infra-estrutura para facilitar a comunicação e colaboração direta, geralmente em tempo real, de computadores.

Computação Distribuída Esta categoria visa tirar proveito de recursos disponíveis

como poder de processamento e armazenamento não utilizado. Membros disponibilizam suas máquinas para executar tarefas do sistema quando estão ociosas.

Serviços de Suporte a Internet Disponibilizar serviços que auxiliam na navegação, segurança e estatísticas na internet, como sistemas de *multicast* e antivírus.

Bancos de Dados Integração de bancos de dados e armazenamento distribuído com serviços de replicação e consistência de dados.

Distribuição de Conteúdo Atualmente é o foco das redes P2P, com redes que auxiliam o compartilhamentos de arquivos de mídia, documentos e softwares.

A pesquisa (8) apresenta uma completa descrição sobre redes P2P.

2.5 Convergência entre Grades de dados e redes P2P

Grades de dados e P2P estão ambos envolvidos no compartilhamento de recursos e sua integração, criando comunidades distribuídas construídas através de redes de *overlay*(capítulo 3).

Contudo, o crescimento das grades de dados e redes P2P só são possíveis criando uma tecnologia que combine elementos particulares de ambas as redes (7). Esta nova tecnologia converge em gerenciamento e tolerância a falhas, protocolos escaláveis e auto-configuráveis que emergiram de pesquisas em redes P2P. Também proverá uma infra-estrutura multi-propósito persistente, que explorará a heterogeneidade das máquinas construindo um ambiente de alta performance, robusto e confiável.

Capítulo 3

Modelos de Grades de Dados

3.1 Modelos de Topologias de Grades de dados

O modelo de uma grade de dados é a forma como as fontes de dados são organizadas no ambiente. Existe uma grande variedade de modelos de topologias organizacionais para o funcionamento de uma grade de dados, de acordo com a característica e aplicação de cada grade de dados é escolhido um modelo. Tamanho dos dados armazenados, distribuição dos conjuntos de dados, facilidade no acesso, gargalos, são características que influenciam na escolha do modelo apropriado de uma grade de dados.

De acordo com (10) os modelos organizacionais mais adotados nas grades de dados são: monadico, hierárquico, federação e híbrido e são descritos a seguir.

3.2 Monadico

Este modelo é comum nas grades de dados em que todos os dados estão concentrados em um único repositório central, e este é responsável por atender requisições de usuários e prover dados. Os dados podem ter origens de diversos equipamentos distribuídos e são acessados por uma interface centralizada como um portal Web, verificando autorizações e

usuários. Este modelo é apresentado na Figura 3.1, semelhante ao modelo da Figura 3.6a que representa modelo de rede de overlay estruturado do tipo estrela. Como exemplo deste modelo temos o utilizado no NEESgrid Project (Network For Earthquake Engineering Simulation).

Figura 3.1 – Modelo de rede monádico.

No modelo monádico, existe um único ponto de acesso aos dados, sendo esta a maior diferença dos outros modelos. Em outros modelos, os dados podem ser acessados parcialmente ou inteiramente por diferentes pontos da rede, devido à replicação e distribuição de conteúdo.

Para melhorar a tolerância a falhas no modelo, o servidor central pode ser replicado. Este modelo é melhor em ambientes em que replicar dados tem custo alto, porque existe um único ponto de replicação e manutenção de consistência.

3.3 Hierárquico

O modelo hierárquico é usado em grades de dados em que existe uma única fonte distribuição de dados, e os dados são distribuídos através da colaboração entre membros da grade. Os primeiros membros adquirem os dados da fonte original e podem repassar

a outros membros de suas instituições como na Figura 3.2, formando uma topologia do tipo árvore, como apresentado na Figura 3.6c.

Figura 3.2 – Modelo de rede hierárquico.

O modelo de infra-estrutura para distribuição de dados do CMS foi proposto pelo grupo do MONARC (Models of Networked Analysis at Regional Centres) no CERN, seguindo o modelo hierárquico.

Uma grande vantagem do modelo hierárquico é a manutenção de consistência dos dados, que é simples, porque basta atualizar a fonte de dados e estes são propagados pelos membros. A enorme quantidade de dados gerada por experimentos motiva o desenvolvimento de mecanismos robustos para a distribuição de dados.

3.4 Federação

O modelo de federação é predominante nas grades de dados criadas por instituições que necessitam compartilhar dados de bancos de dados já existentes. As instituições disponibilizam suas bases em uma rede criada através da agregação de participantes, na maioria das vezes não existe um servidor central, como apresentado na Figura 3.3.

O modelo de rede proposto por Barabási-Albert (Figura 3.8b) é semelhante às topologias descentralizadas que são criadas dinamicamente, bem como grades de dados

Figura 3.3 – Modelo de rede federação.

organizadas a partir de técnicas P2P, seguindo o modelo de federação.

Como exemplo de grades de dados que seguem o modelo de federação tem-se o BIRN (Bioinformatics Research Network). Neste modelo pesquisadores de uma instituição pertencente à grade de dados podem requisitar dados de bases de dados de qualquer instituição desde que tenham autorização. Na federação cada instituição tem controle sobre sua base de dados local.

3.5 Híbrido

Este modelo é uma combinação dos modelos hierárquicos e federação. É um modelo teórico que pode ser adotado em grades de dados hierárquicas em que os membros têm necessidade colaborar e compartilhar produtos de suas análises, criando ligações diretas entre os membros.

No modelo híbrido, podem existir interconexões entre qualquer nível da hierarquia como apresentado na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Modelo de rede híbrido.

3.6 Redes de *Overlay*

As redes *peer-to-peer* e grades de dados são redes virtuais construídas em cima da rede física e denominadas redes de *overlay*. Existem conexões virtuais entre os nós pertencentes à rede que não estão necessariamente ligados pela rede física de forma direta. As conexões virtuais indicam que os nós interconectados podem comunicar-se diretamente entre si, abstraindo a complexidade da camada de rede como apresentado na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Rede de *overlay*.

3.7 Topologias estruturadas

Apesar de que a maioria das redes criadas dinamicamente não é estruturada, é necessária uma comparação com as redes estruturadas já conhecidas, portanto foram utilizados alguns modelos de rede existentes na literatura (8).

3.8 Modelo de estrela

Neste tipo de topologia tem-se um nó concentrador de conexões(*hub*), ou seja, todas os outros nós da rede conectam-se diretamente com este nó central formando uma estrela como na Figura 3.6a. As maiores vantagens desta topologia são as buscas que possuem no máximo dois *hops* e a facilidade de inclusão de nós participantes na rede.

A inclusão de um novo nó é feita através de sua conexão com o nó central(*hub*), deste modo, qualquer mensagem trocada entre dois nós da rede passa pelo nó central. Esta também é a maior desvantagem da topologia em forma de estrela, porque havendo falha no nó central, todas as conexões são perdidas, ou seja, não existe mais comunicação na rede.

Figura 3.6 – Modelos de topologias estruturadas.

3.9 Modelo de anel

Em topologias do tipo anel, nós estão ligados em série, construindo um caminho fechado em forma de anel como na Figura 3.6b. Cada nó possui apenas dois vizinhos e dependendo da política de busca utilizada na rede, a mensagem de busca pode percorrer qualquer direção do anel.

Uma grande vantagem das topologias do tipo anel é na busca de recursos, pois pode-se percorrer toda a rede com uma ou no máximo duas mensagens. Quando utiliza-se uma mensagem, esta percorre todos os nós da rede caso não encontre o recurso. Se a política de busca utilizar duas mensagens, isto é, o nó requisitante envia uma mensagem para cada vizinho, o número máximo de nós percorrido por cada mensagem é a metade de uma busca com uma mensagem, diminuindo o tempo de resposta da busca.

Como desvantagem da topologia anel, existe uma dificuldade na inserção de novos participantes na rede, pois faz-se necessário quebrar o elo entre dois nós para inclusão de um novo. Com esta quebra de elo, pode-se perder alguma mensagem que esteja trafegando pelo caminho, assim interrompendo uma busca.

3.10 Modelo de árvore

O modelo de árvore representa modelos estruturados de forma hierárquica, ou seja, existem domínios e subdomínios entre os nós. Esta rede inicia-se com um nó que cria n conexões a n nós distintos, cada nó cria n conexões outros n nós e assim sucessivamente como na Figura 3.6c, formando topologias com curtas distâncias entre nós.

Quando o elo entre dois nós é quebrado, os participantes dos subdomínios dos nós que perderam a conexão continuam operando e comunicando-se somente dentro de seu

subdomínio.

3.11 Topologias não estruturadas

Para simular sistemas *peer-to-peer* (P2P) e grades de computadores, é necessário criar uma topologia de rede com propriedades e características semelhantes às redes encontradas no mundo real. De acordo com (16) a topologia baseada no modelo de Barabási-Albert (17) segue a lei de potência encontrada na maioria das redes de *overlay* como Gnutella, redes sociais e até mesmo a Internet.

Como base para comparação entre topologias não estruturadas, foi escolhido, o modelo clássico de rede aleatória proposto por Erdős e Rényi.

3.12 Modelo de Erdős-Rényi

Figura 3.7 – Rede aleatória de Erdős-Rényi.

O modelo de rede aleatória proposto por Erdős e Rényi é composto por N vértices e M arestas (18). Para construir o modelo parte-se de uma rede com N vértices totalmente desconectados e são criadas M arestas interligando M pares de vértices. Cada par de

vértices é escolhido aleatoriamente, de modo que o mesmo par não seja escolhido mais de uma vez, e não exista conexão de um vértice com ele mesmo.

Na Figura 3.7 é apresentada uma rede aleatória construída de acordo com o modelo descrito.

3.13 Modelo de rede Barabási-Albert

Para criar o modelo de Barabási-Albert (17), inicia-se a partir de rede com n_0 vértices, onde cada vértice possui uma conexão direta com cada outro vértice da rede, gerando uma topologia totalmente conectada como na Figura 3.8a. Para o crescimento da rede, a cada passo é inserido um vértice i com $m < n_0$ conexões (arestas), e cada aresta (i, j) conectada com probabilidade $P(j) \sim k_j$, sendo k_j o grau (número de conexões) do vértice j . Em redes com esta estrutura, os vértices com maior grau tendem a receber mais conexões, porém são pouco frequentes, já a maioria dos vértices possuem poucas conexões. Esse comportamento define uma rede sem escala (*scale-free*) como na Figura 3.8b.

Figura 3.8 – Construção do modelo de Barabási-Albert.

Capítulo 4

Descoberta e Replicação de Dados

4.1 Políticas de Busca

Quando trabalhamos com grandes quantidades de dados, um dos desafios é localizar dados que são compartilhados na rede. Em uma grade de dados existe um grande número de membros compartilhando dados, e existem mecanismos e protocolos para facilitar a localização de dados. Devido à entrada e saída de membros nas redes ser constante, o mecanismo de busca precisa adaptar-se a falhas, portanto foram escolhidos duas estratégias comuns tanto em grades de dados quanto em P2P: *flooding* e passeio aleatório.

4.2 Flooding

De acordo com (19) e (8), a maioria das redes descentralizadas com topologias que seguem o modelo de Barabási-Albert, utilizam mecanismos de busca do tipo *flooding*, porque este mecanismo é dinâmico, adaptando-se às falhas devido a população de participantes ser intermitente.

Inicialmente o nó, fonte da busca, cria um pacote de requisição de dados e encaminha cópias destinadas a seus respectivos vizinhos. Estes, por sua vez, se não possuírem o dado

requisitado, repassam-no a outros, e assim sucessivamente como apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Busca por *flooding*.

Para evitar que pacotes trafeguem eternamente na rede, é necessário limitar o número de passos da busca. Cada pacote de busca possui um campo de informação denominado tempo de vida (TTL). A cada *hop* (pulo de um nó para outro) decrementa-se o valor do campo TTL, e quando este valor chega em zero o pacote é descartado. Esta é uma medida de segurança que evita acúmulo de pacotes e limita a área de busca na rede.

Para evitar o recebimento repetitivo de pacotes de conexões diferentes, cada nó consulta a tabela de identificadores de pacotes, que contém informações dos pacotes recebidos, confirmada a presença do pacote, este é descartado automaticamente (20).

4.3 Passeio Aleatório

Passeio aleatório ou *random walk*, é um método de busca em redes que utiliza-se de uma sequência aleatória de passos para encontrar determinado recurso. Optou-se por

adicionar esta política de busca porque possui grande destaque na literatura sobre redes P2P e Grids (8), pois não compromete a performance das redes com grande número de mensagens como ocorre com o *flooding*.

Para começar uma busca, primeiramente o nó requisitante do recurso escolhe um de seus vizinhos, de modo aleatório, e envia uma mensagem solicitando o recurso. Caso o vizinho seja provedor do recurso este envia outra mensagem ao requisitante, terminando a busca e compartilhando o recurso. Porém, se o nó vizinho ao requisitante não possui o recurso solicitado, este executa o processo recursivamente até encontrar o recurso ou alguma condição de término da busca ocorra. Dentre as condições de término existentes, o *Time-To-Live*(TTL) é o mais utilizado. É importante enfatizar que na busca por passeio aleatório nenhuma direção é mais provável que outra. Na Figura 4.2 é apresentado o passeio aleatório em um modelo de Barabási-Albert.

Figura 4.2 – Busca por passeio aleatório em uma rede Barabási-Albert.

4.4 Políticas de Replicação

Uma grade de dados é um ambiente de colaboração que está geograficamente distribuído, e os participantes podem necessitar dados que foram gerados por colaboradores que estão geograficamente distantes. A replicação de dados é ponto chave na colaboração de conjuntos de dados massivos, pois é possível diminuir a latência na transferência destes conjuntos. Com replicação é possível eliminar pontos únicos de acesso a dados, diminuindo congestionamentos e sobrecargas em um único servidor e melhorando a escalabilidade do sistema. O tempo de espera nas buscas por conjunto de dados também diminui com a replicação porque com o mesmo dado em vários pontos da rede buscas não determinísticas tem maior chance de encontrá-los.

As políticas de replicação utilizadas como base para comparação foram escolhidas de acordo com a popularidade dos dados em redes P2P e grades de dados. De acordo com (21), quanto maior o número de buscas por certo dado, maior é sua popularidade, portanto replicando o dado popular, pode-se diminuir tráfego de pacotes na rede e melhorar a eficiência das buscas.

4.5 Passiva

A replicação passiva ocorre naturalmente quando um nó requer a cópia de algum recurso à outro nó, ambos tornando-se provedores do recurso como apresentado na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Replicação Passiva.

4.6 Caminho da Busca

Este método de replicação é utilizado em varios sistemas como OceanStore, MojoNation e Freenet (8) (22). Quando uma busca é bem sucedida, replica-se o dado em todos os nós que estão no caminho inverso percorrido pela busca, até que o dado chegue ao nó de origem da busca Figura 4.4. O método de replicação por caminho da busca aumenta a disponibilidade de dados na rede, também facilitando na sua localização.

Figura 4.4 – Replicação pelo caminho da busca.

4.7 Caminho da Busca com Probabilidade

O funcionamento da política de replicação por caminho da busca com probabilidade é parecido com o caminho da busca tradicional, contudo para replicação do dado tem-se uma probabilidade do nó que esta no caminho receber uma réplica, portanto não são todos os nós do caminho da busca que recebem réplicas (22) Figura 4.5.

Figura 4.5 – Replicação pelo caminho da busca com probabilidade.

4.8 Políticas de Substituição

O armazenamento dos dados nos nós é fator preponderante para que a replicação seja concluída, pois é necessário que exista espaço de armazenamento suficiente para as cópias. A privação de espaço compele o uso das políticas de substituição que apaga uma ou mais réplicas dentro do nó ao inserir novas.

4.9 Aleatório

Na política de substituição aleatória, todas as réplicas presentes no disco tem a mesma probabilidade de serem apagadas. Quando é necessário excluir uma réplica, escolhe-se aleatoriamente uma réplica dentro do conjunto armazenado, como apresentado na Figura 4.6.

Figura 4.6 – Substituição aleatória.

4.10 FIFO

First in First out (FIFO) é uma política simples, funciona como uma fila em que o primeiro a entrar na fila é o primeiro a sair. Em substituição de réplicas, a réplica mais antiga é a primeira a ser apagada, como apresentado na Figura 4.7, e assim sucessivamente com as outras réplicas.

As políticas de busca, replicação e substituição apresentadas neste capítulo foram utilizadas nas simulações realizadas neste trabalho, com intuito de compreender a interação entre políticas e modelos de redes.

Figura 4.7 – Funcionamento de uma fila (FIFO).

Capítulo 5

Simulação

5.1 Simulador

Ambientes de grades computacionais e grades de dados abrangem uma vasta complexidade de implementação, por englobarem vários aspectos de redes de computadores, tais como: segurança, protocolos de redes, heterogeneidade de arquiteturas, sistemas de armazenamentos, dentre outros. Tal complexidade requer análises prévias de algumas funcionalidades para validar topologias e políticas que são mais adequadas para o sistema, e a forma mais eficaz de legitimá-las é através da simulação computacional. A simulação é um método de relevada importância, pois, avalia o impacto de políticas e estratégias de manipulação de dados e distribuição de processamento antes que sejam realmente implantados em uma grade real.

Para que as políticas e estratégias adotadas sejam autenticadas com relação a desempenho, escalabilidade, confiabilidade e outros requisitos, são necessários testes e análises com números significativos de nós e requisições de arquivos na rede. No entanto, é tarefa árdua convencer grande número de usuários a instalar um aplicativo experimental em seus computadores, ainda que o intuito seja o de avaliar o desempenho do mesmo. Portanto, chega-se à conclusão de que o método mais adequado para realizar avaliações no trabalho é através da construção de um simulador.

A construção de um simulador possibilita concentrar-se no estudo das políticas de

interesse, facilitando a análise dos efeitos de elementos externos, como a rede de interconexão, falhas em nós, e também simplifica a compreensão das conseqüências que o tráfego de rede acarreta no desempenho do ambiente de uma grade computacional. Alguns componentes das grades (23) (24) como infra-estrutura de rede, protocolos de comunicação e poder computacional dos nós não foram adicionados à simulação devido à complexidade na implementação e foco do trabalho.

Durante a análise realizada do sistema a ser simulado, fez-se notória a presença de instantes de tempo em que não há ocorrência de eventos, e, portanto a simulação em tempo cronológico consumiria muitos recursos computacionais inutilmente. Assim, optou-se por implementar um simulador de redes baseado na simulação por eventos discretos.

Simulações baseadas em eventos discretos são representadas como seqüência cronológica de eventos, ou seja, a evolução do tempo é determinada pela ocorrência de eventos. Cada evento possui marcadores que definem o instante de tempo em que será processado, podendo mudar o estado da simulação. O tempo dos eventos é gerado por uma distribuição aleatória ou mudanças de estado do simulador, e de acordo com a ordenação definida pelo tempo são adicionados em uma fila de espera denominada agenda (25), sendo esta responsável pela ordem de execução dos eventos que são retirados um por vez e processados como na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Agenda de eventos.

5.2 Gerador de redes de *overlay*

A representação da grade de dados inclui a definição de uma rede de overlay, que exhibe um grafo não direcionado representado por conexões full-duplex. A topologia das redes de overlay é construída a partir de gerador de redes complexas (26). Com o gerador podemos criar variadas topologias de redes de overlay para futuras análises. Para base de comparação, foram utilizadas redes de overlay estruturadas e não-estruturadas que estão na tabela 5.1 e foram descritas no capítulo anterior.

Tabela 5.1 – Topologias de rede utilizadas.

Estruturadas	Descrição
Anel	Erdős-Rényi
Estrela	Barabasi
Árvore	

Para simular as unidades de armazenamento dos computadores, cada nó da rede de overlay possui uma lista de tamanho fixo (descrito como um dos parâmetros iniciais da simulação) que representa o conjunto de dados contido em cada nó. Cada lista contém índices que representam os arquivos, sendo estes gerados de acordo com o modelo descrito no tópico 5.3, e usados como referência de distribuição de arquivos nos nós da rede no início da simulação.

5.3 Distribuição inicial de arquivos

O modelo de distribuição inicial de dados entre os nós da rede segue uma distribuição aleatória, isto é, todos os nós tem a mesma probabilidade de receber qualquer arquivo dentro do conjunto inicial de arquivos descritos no início da simulação. É escolhido aleatoriamente um nó dentre os N existentes na rede, e, caso haja espaço suficiente na lista do nó, escolhe-se aleatoriamente um arquivo no conjunto inicial de arquivos C , e este

é inserido na lista de arquivos do nó, representando um arquivo inicial na unidade de armazenamento do nó.

5.4 Falhas

Sistemas de distribuição de conteúdo, como redes P2P e grades de dados, por sua natureza são heterogêneos, ou seja, compostos por computadores de diversas arquiteturas. Estes sistemas criam uma topologia de overlay em cima da Internet, integrando diversos tipos de redes físicas. Devido ao número de máquinas envolvidas, é comum a ocorrência de falhas tanto nas conexões de rede quanto em máquinas.

Existem diversos tipos de falhas presentes na literatura, como: *hardware*, configuração, *middleware* e aplicações (27). Neste trabalho, optou-se por tratar todos os tipos de falha como um só. Para calcular quantos nós F de uma rede, com n nós, podem falhar no período de simulação(t) utilizamos uma probabilidade fixa p , de falha em cada instante de tempo para cada nó. A cada unidade de tempo os nós tem a mesma probabilidade de falhar, portanto calcula-se o número de falhas F por:

$$F = p \times t \times n$$

Para simular as falhas, gera-se F falhas em nós aleatórios em instantes aleatórios, podendo cada nó falhar apenas uma vez. As falhas nos nós são permanentes, ou seja, o nó que falha não retorna a rede, portanto os arquivos e pacotes que estavam contidos nos *buffers* dos nós são perdidos. Com este tipo de simulação de falhas, simplifica-se o entendimento do processo de falhas permanentes, apresentando a interferência das falhas em perdas de arquivos, pacotes e políticas de busca, replicação e substituição.

5.5 Políticas

Na simulação das redes apresentadas na Tabela 5.1, foram utilizadas políticas de busca, replicação e substituição (Tabela 5.2) com intuito de comparar combinações de políticas com as redes. Com esta abordagem pode-se melhor compreender a interação entre políticas e tipos de redes.

Tabela 5.2 – Políticas utilizadas na simulação.

Busca	Substituição	Replicação
Flooding	Aleatória	Passiva
Passeio Aleatório	FIFO	Caminho da Busca
		Caminho da Busca com Probabilidade

Capítulo 6

Resultados

Os dados utilizados nas análises são a média de trinta execuções de cada combinação de políticas e redes. Para cada execução foi fixado o tipo de rede e políticas, porém as buscas por arquivos e topologia foram geradas aleatoriamente para obter uma média dos dados mais precisa, independente de redes e buscas específicas.

Os modelos de redes utilizados na simulação são baseados nas redes apresentadas na Tabela 5.1. Cada modelo de rede possui 1000 nós e 5000 arquivos.

Cada arquivo é distribuído inicialmente de modo aleatório e todos os nós têm a mesma probabilidade de receber qualquer arquivo. É escolhido aleatoriamente um nó dentre os N existentes na rede, e, caso haja espaço suficiente na lista do nó, escolhe-se aleatoriamente um arquivo no conjunto inicial de arquivos C , e este é inserido na lista de arquivos do nó, representando um arquivo inicial na unidade de armazenamento do nó. Cada nó possui um recurso de armazenamento (espaço em disco) capaz de armazenar no máximo 10 arquivos.

Ao realizar uma busca, tanto o nó fonte da busca quanto o arquivo a ser procurado são escolhidos aleatoriamente dentre os conjuntos de nós e arquivos da simulação. Como cada simulação possui 1000 nós e 5000 arquivos iniciais, a probabilidade de uma busca escolher determinado nó é de 0,001 e determinado arquivo é 0,0002.

Em modelos de Erdős-Rényi, foi utilizado como probabilidade de conexão entre os nós o valor 0.02, resultando em 2 por cento de chance do nó que está aderindo à rede

conectar-se com cada nó pertencente à rede, e um grau médio de 20. Em redes do tipo Barabási-Albert, o parâmetro de criação de rede foi o grau médio dos nós da rede, sendo igual a 4.

Devido à grande quantidade de dados gerados nas simulações, o processo de construção de gráficos foi automatizado através de *scripts*, e as legendas dos gráficos seguem o padrão definido por:

$$R - x \ P - y \ S - z \ B - w$$

onde,

x é o tipo de política de replicação(R).

y é o valor probabilidade de replicação(P).

z é tipo de política de substituição(S).

w é tipo de política de busca(B).

Na Tabela 6.1 são apresentados os valores assumidos por x, y, z e w .

A variável x pode assumir três políticas: Replicação *Passiva* (PAS), *Caminho da Busca* (CDB) e *Caminho da Busca com Probabilidade* (CDB P- y).

Ao simular a política de replicação CDB P- y , são descartados os valores de probabilidade 0.0 e 1.0, porque quando o valor da probabilidade é 0.0 significa que o arquivo será replicado somente no nó requisitante da busca, conseqüentemente definindo replicação *Passiva*. Quando o valor da probabilidade é 1.0, temos replicação do arquivo em todos os nós percorridos pela busca, definindo a replicação por *Caminho da Busca*.

Nos gráficos apresentados neste capítulo o eixo horizontal representa a probabilidade de falhas em nós e o eixo vertical representa os dados gerados pela simulação:

Mensagens Média do número de mensagens geradas por todas as buscas realizadas.

Tabela 6.1 – Políticas utilizadas na simulação.

R	P	S	B
PAS	0.0	1 - Aleatória	1 - Flooding
CDB	0.1	2 - FIFO	2 - Passeio aleatório
CDB P- y	0.2		
	0.3		
	0.4		
	0.5		
	0.6		
	0.7		
	0.8		
	0.9		
	1.0		

Entende-se por mensagem, a comunicação entre nós vizinhos. Uma única busca pode conter uma ou mais mensagens.

Arquivos perdidos Média do número de arquivos que foram perdidos durante a simulação, ocorrendo perda por falhas em nós ou substituição de arquivos.

Passos da busca Média do número de nós que foram percorridos por uma busca bem sucedida, não estão incluídos a fonte e o destino da busca, somente os nós intermediários.

Espaços vazios em nós Média de espaços não ocupados por arquivos na rede.

Cada execução de conjunto de políticas foi simulada com 50, 100, 200, 400 e 800 buscas. Foram analisados os gráficos resultantes das simulações destas quantidades de buscas, sendo a principal diferença a escala dos valores assumidos no eixo vertical. Portanto comparando gráficos com poucas e muitas buscas, ou seja, 50 e 800 buscas, é possível tirar conclusões sobre o comportamento das redes e políticas.

6.1 Tráfego de rede

O tráfego de rede foi analisado através da simulação de troca de mensagens entre nós participantes da rede, ou seja, qualquer comunicação entre nós é entendida como tráfego de rede.

6.2 Efeito das políticas de busca no tráfego de rede

Em todos os modelos de rede analisados, políticas de busca de busca do tipo *Flooding* combinadas com políticas de substituição tanto *Aleatória* quanto *FIFO* (gráficos 6.2a, 6.2c, 6.3a, 6.3c, 6.4a, 6.4c, 6.5a, 6.5c, 6.6a, 6.6c, 6.7a, 6.7c, 6.8a, 6.8c, 6.9a, 6.9c, 6.10a, 6.10c, 6.11a e 6.11c), produzem maior tráfego de mensagens em relação à política de busca por *Passeio Aleatório* (gráficos 6.2b, 6.2d, 6.3b, 6.3d, 6.4b, 6.4d, 6.5b, 6.5d, 6.6b, 6.6d, 6.7b, 6.7d, 6.8b, 6.8d, 6.9b, 6.9d, 6.10b, 6.10d, 6.11b e 6.11d).

A política de busca por *Flooding* gera mais tráfego que *Passeio Aleatório*, porque gera muitas mensagens em uma única busca, transformando uma busca em n buscas paralelas, de acordo como número n de vizinhos de cada nó. Na busca por *Passeio Aleatório*, uma busca gera poucas mensagens pois existe apenas uma rota sendo percorrida.

De acordo com a relação entre o tráfego de mensagens e as falhas em nós da rede apresentadas nos gráficos das Figuras 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, o número de mensagens diminui quanto mais falhas ocorrem na rede, como consequência, quebra de rotas e perda de mensagens que se encontravam nos *buffers* dos nós que falharam.

Na política de busca por *Passeio Aleatório*, as mensagens somente são perdidas quando estão armazenadas nos *buffers* dos nós que falham, quando as falhas danificam uma rota pela qual a busca passaria, esta retorna pelo caminho percorrido anteriormente, com isso

a política de busca por *Passeio Aleatório* é tolerante a falhas em conexões entre nós.

Quando é utilizada a política de busca por *Flooding*, uma busca não pode percorrer mais de uma vez o mesmo caminho, existindo falha na conexão entre os nós em que uma busca percorre, esta ramificação da busca é perdida, porém as ramificações restantes ainda continuam gerando mensagens e buscando pelo arquivo requisitado.

Os gráficos 6.2b, 6.2d, 6.3b, 6.3d, 6.4b, 6.4d, 6.5b, 6.5d, 6.6b, 6.6d, 6.7b, 6.7d, 6.8b, 6.8d, 6.9b, 6.9d, 6.10b, 6.10d, 6.11b e 6.11d, apresentam a relação entre tráfego de mensagens e falhas nas simulações em que foram utilizadas a política de busca por *Passeio Aleatório*.

Os gráficos 6.2a, 6.2c, 6.3a, 6.3c, 6.4a, 6.4c, 6.5a, 6.5c, 6.6a, 6.6c, 6.7a, 6.7c, 6.8a, 6.8c, 6.9a, 6.9c, 6.10a, 6.10c, 6.11a e 6.11c, apresentam a relação entre tráfego de mensagens e falhas nas simulações em que foram utilizadas a política de busca por *Flooding*.

Pode-se afirmar que a quantidade de tráfego gerado por buscas que utilizam *Passeio Aleatório* é inferior à buscas utilizando *Flooding*.

6.3 Efeito das políticas de replicação nsec:efbuscatrafegoo tráfego de rede

Analisando o tráfego de rede nas topologias Estrela e Árvore (Figuras 6.2, 6.3, 6.6, 6.7), percebe-se que ao utilizar política de busca do tipo *Flooding* com as políticas de replicação *Passiva*, *Caminho da Busca* e *Caminho da Busca com Probabilidade*, existem flutuações significativas na quantidade de mensagens, mas sem tendência definida. Este comportamento também é repetido em redes cujas topologias são baseadas em modelos de Barabási-Albert e Erdős-Rényi, somente quando o número de buscas é pequeno (gráficos 6.8a, 6.8c, 6.10a, 6.10c).

Nas simulações em que utilizaram política de busca por *Passeio Aleatório* com as

políticas de replicação *Passiva*, *Caminho da Busca* e *Caminho da Busca com Probabilidade*, o tráfego gerado por cada busca é o mesmo para qualquer modelo de topologia (gráficos 6.2b, 6.2d, 6.4b, 6.4d, 6.6b, 6.6d, 6.8b, 6.8d, 6.10b e 6.10d), limitando-se a 9 mensagens por busca realizada.

6.4 Efeito das políticas de substituição no tráfego de rede

Analisando os gráficos das Figuras 6.3, 6.5, 6.7, 6.9, 6.11, nota-se que a política de substituição não muda a característica das curvas em relação a tráfego de mensagens. Política de substituição *Aleatória* ou *FIFO* produz resultados similares no tráfego.

6.5 Efeito das topologias de rede no tráfego de rede

O tráfego de rede é maior em redes que seguem o modelo de Erdős-Rényi (Figuras 6.10 e 6.11) porque os nós possuem grau médio maior que todos os outros modelos de rede simulados devido ao método de geração de rede, deste modo existem mais rotas para serem utilizadas pelas buscas, gerando mais comunicação entre nós e conseqüentemente maior tráfego. Buscas do tipo *Flooding*, são responsáveis pelo tráfego intenso de 2000 vezes maior que buscas utilizando *Passeio Aleatório*, devido ao número de vizinhos de cada nó ser grande, pode-se atingir muitos nós com apenas uma busca e gerando um número de mensagens muito grande.

Em topologias do tipo Anel (Figuras 6.4 e 6.5), uma busca pode gerar no máximo n mensagens em busca por *Flooding*, sendo n o número de nós da rede. Quando é utilizado busca por *Passeio Aleatório* o tráfego é duas vezes menor que *Flooding*, porém pode-se ter

buscas eternas, porque a mesma rota pode ser percorrida mais de uma vez. Para evitar buscas eternas utiliza-se o recurso TTL.

Nas simulações em que foram utilizadas redes do tipo Estrela (Figuras 6.2 e 6.3), são geradas nas buscas por *Flooding* $n + 1$ mensagens para cada busca realizada, ou seja, todos os nós da rede são atingidos por uma busca, gerando tráfego intenso na rede. Na utilização de busca por *Passeio Aleatório* ocorre o mesmo problema de buscas eternas, porém o tráfego de mensagens é 110 vezes menor que na utilização de buscas por *Flooding*.

Nas redes do tipo Barabási-Albert (Gráficos 6.8a, 6.8b, 6.9a, 6.9b), políticas de busca por *Flooding* geram tráfego na ordem de 330 vezes maior que *Passeio Aleatório*, porém o custo do tráfego pode compensar se o intuito da rede é velocidade na busca por arquivos.

De acordo com os Gráficos 6.6a, 6.6b, 6.7a, 6.7b, as redes do tipo Árvore as buscas realizadas por *Flooding* geram tráfego 10 vezes maior que *Passeio Aleatório*, tornando-se viável apenas em redes que velocidade de busca é necessária.

Figura 6.1 – Proporção entre o tráfego gerado por busca para cada topologia de rede e política de busca.

Na Figura 6.1, é apresentada a proporção entre o tráfego gerado por busca para cada topologia de rede e política de busca. Nota-se que utilizando a política de busca por

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.2 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Estrela com 50 buscas.

Passeio Aleatório, o tráfego gerado é o mesmo para todos os modelos de rede simulados. Porém, ao simular política de busca por *Flooding*, buscas em topologias do tipo Erdős-Rényi produzem maior tráfego que os outros modelos de topologias, na ordem de 18800 mensagens por busca realizada. Em topologias do tipo Anel, o tráfego gerado por busca é de aproximadamente 18 mensagens.

É característica da política de busca por *Passeio Aleatório* gerar pouco tráfego, porque não cria buscas em paralelo como acontece no *Flooding*. Quando é utilizado política de busca *Flooding* em topologias como Erdős-Rényi e Barabási-Albert, topologias que possuem um grande número de conexões entre os nós, o tráfego gerado é maior em relação a topologias com menor número de conexões como Anel e Estrela. sec:efbuscatrafego

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.3 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Estrela com 800 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.4 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Anel com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.5 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Anel com 800 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.6 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Árvore com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.7 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Árvore com 800 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.8 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.9 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 800 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.10 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.11 – Tráfego de rede x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 800 buscas

6.6 Sobrevivência de Réplicas

A sobrevivência de réplicas é analisada partindo do número de arquivos (réplicas) perdidos ao longo das simulações. Réplicas podem ser perdidas devido a falhas em nós e substituição de arquivos.

Nas simulações realizadas com modelos estrela, árvore e anel, todos com 50 e 800 buscas, e modelos de Erdős-Rényi e Barabási-Albert com 50 buscas, foram obtidos resultados semelhantes, com curvas seguindo um crescimento linear do número de arquivos perdidos em relação à probabilidade de falhas que varia de 0 a 100 por cento dos nós da rede, exceto nas simulações de modelos de Barabási-Albert e Erdős-Rényi com 800 buscas (gráficos 6.12 e 6.13), política de busca por *Flooding* e política de substituição *Aleatória* e *FIFO*.

6.7 Efeito das políticas de busca na sobrevivência de réplicas

A diferença entre as políticas de busca *Flooding* e *Passeio aleatório* só pode ser percebida nos gráficos das Figuras 6.12 e 6.13 que são as simulações realizadas respectivamente nos modelos de Barabási-Albert e Erdős-Rényi com 800 buscas. A política de busca por *Passeio aleatório* segue em ambos os casos como um crescimento linear do número de arquivos perdidos em relação à probabilidade de falhas, variando de 0 a 100 por cento dos nós da rede, como ocorre com os modelos de estrela, anel e árvore. Na política de busca por *Flooding*, existe uma variação de acordo com a política de replicação utilizada.

6.8 Efeito das políticas de replicação na sobrevivência de réplicas

Referente à análise de sobrevivência de réplicas relacionada com políticas de replicação, observa-se nos gráficos 6.12a, 6.12c, 6.13a e 6.13c, que as políticas de replicação em que ocorrem menor perda de arquivos são as que possuem menor replicação de arquivos, ou seja, na replicação *Passiva* ocorre menos perda de arquivos que em replicação pelo *Caminho da Busca*. Quando é utilizada replicação pelo *Caminho da Busca com Probabilidade*, existe um crescimento do número de arquivos perdidos de acordo com o crescimento da probabilidade.

6.9 Efeito das políticas de substituição na sobrevivência de réplicas

Na análise de sobrevivência de réplicas em relação à políticas de substituição, a interferência da política de substituição só pode ser percebida nas simulações do modelo de Barabási-Albert e Erdős-Rényi com 800 buscas, como ocorreu com as políticas de busca. Nos gráficos 6.12a, 6.12c, 6.13a e 6.13c nota-se uma variação entre o número de arquivos perdidos entre as políticas de substituição *Aleatória* e *FIFO*, sendo *FIFO* a política em que perde-se mais arquivos durante a simulação.

É importante ressaltar que a diferença entre as políticas *Aleatória* e *FIFO* ocorre especialmente em baixas taxas de falhas, e o principal responsável pela perda de arquivos é a política de replicação. Em políticas de replicação em que arquivos são replicados com maior frequência, os efeitos na perda de arquivos são mais acentuados.

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.12 – Arquivos Perdidos x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 800 buscas

6.10 Efeito das topologias de rede na sobrevivência de réplicas

A interferência da topologia de rede só pode ser percebida nos gráficos das Figuras 6.12 e 6.13, referentes às topologias de Barabási-Albert e Erdős-Rényi. De acordo com as Figuras 6.12 e 6.13, nas topologias que seguem o modelo de Barabási-Albert existem menos perda de arquivos em relação à Erdős-Rényi. Topologias do tipo Anel, Estrela e Árvore, possuem menor perda de arquivos em relação à Barabási-Albert e Erdős-Rényi, seguindo como um crescimento linear do número de arquivos perdidos em relação à probabilidade de falhas.

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.13 – Arquivos Perdidos x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 800 buscas

Tabela 6.2 – Comparação entre políticas de busca em modelos de topologia.

	Flooding	Passeio Aleatório
Estrela	1	8
Anel	8	8
Árvore	8	8
Barabási-Albert	6	8
Erdős-Rényi	6	8

6.11 Localização de Arquivos

A localização de arquivos é analisada a partir do número de nós percorridos (passos) da fonte da busca até o destino detentor do arquivo requisitado. Um *Passo da busca* significa que uma mensagem de busca percorreu um nó entre a fonte e o destino, totalizando 3 nós participando da busca.

O número de passos de uma busca tende a decrescer de acordo com a ocorrência de falhas nos nós da rede, porque quanto menor o número de nós participantes da rede, menor será a probabilidade de localizar o arquivo requisitado. Esta característica é apresentada nos gráficos das Figuras 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21, 6.22 e 6.23.

É importante ressaltar que quando uma busca não é bem sucedida (não localizou o arquivo requisitado), não é quantificada, por outro lado, como o número de participantes da rede diminui, os arquivos encontrados tendem a ser encontrados em nós mais próximos.

6.12 Efeito das políticas de busca na localização de arquivos

A política de busca é um dos principais fatores que interferem na localização de arquivos. Nas simulações foram utilizadas as políticas de busca por *Flooding* e *Passeio Aleatório*. As simulações realizadas com política de busca por *Passeio Aleatório* resultaram em gráficos que são similares à uma função exponencial decrescente. Nota-se que independente da topologia de rede e política de substituição, o número de passos médio

de uma busca é 8, quando não existem falhas na rede (gráficos 6.14b, 6.14d, 6.16b, 6.16d, 6.18b, 6.18d, 6.20b, 6.20d, 6.22b, 6.22d), ou seja, entre a fonte e o destino da busca existem 8 nós.

A política de *Flooding* tem como característica encontrar arquivos de modo mais rápido que *Passeio Aleatório*, em questão de tempo e número de passos. Os gráficos das Figuras 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21, 6.22 e 6.23, mostram que o número médio de passos de uma busca por *Flooding* é sempre igual ou inferior ao número médio de passos em buscas por *Passeio Aleatório*, exceto em topologias do tipo Árvore (Figuras 6.18 e 6.19).

Na Tabela 6.2, é apresentada uma comparação entre o número médio de passos em cada modelo de topologia de rede simulado, utilizando as políticas de busca por *Flooding* e *Passeio Aleatório*. Estas comparações são realizadas em ambientes que não existe a ocorrência de falhas.

6.13 Efeito das políticas de replicação na localização de arquivos

As políticas de replicação não apresentaram variações relevantes na localização de arquivos, nas Figuras 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21, 6.22 e 6.23 apresentam gráficos das políticas de replicação *Passiva*, *Caminho da Busca com Probabilidade* e *Caminho da Busca* mostrando as políticas de replicação não apresentam relevância significativa na localização de arquivos.

6.14 Efeito das políticas de substituição na localização de arquivos

As políticas de substituição não apresentaram relevâncias significativas na localização de arquivos, nas Figuras 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21, 6.22 e 6.23 apresentam gráficos das políticas de substituição *Aleatória* e *FIFO*, mostrando a ausência de interferência das políticas de substituição na localização de arquivos.

6.15 Efeito das topologias de rede na localização de arquivos

Os efeitos da topologia de rede somente são percebidos quando é utilizado a política de busca por *Flooding*, na simulação de buscas por *Passeio Aleatório* os valores medidos para número médio de passos em cada busca é sempre o mesmo (8 passos), como apresentado na Tabela 6.2.

Na simulação de políticas de busca por *Flooding*, topologias de rede do tipo Estrela são mais eficientes em relação às topologias Anel, Árvore, Barabási-Albert e Erdős-Rényi, devido à sua característica principal de conexão, em que todos os nós da rede são conectados à um nó central, portanto entre qualquer par de nós (exceto quando o nó central pertence ao par) existe somente um nó no caminho.

Topologias do tipo Anel, Árvore, Barabási-Albert e Erdős-Rényi estão limitadas na busca por *Flooding* pelo TTL(*Time-to-Live*) da busca. Nas topologias Barabási-Albert e Erdős-Rényi, o número médio de passos de uma busca é menor que Anel e Árvore devido à estrutura da topologia, em que nós possuem um grau médio maior.

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.14 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Estrela com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.15 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Estrela com 800 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.16 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Anel com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.17 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Anel com 800 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.18 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Árvore com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.19 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Árvore com 800 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.20 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.21 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 800 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.22 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição Aleatória e Busca por *Passeio Aleatório* (c) Substituição FIFO e Busca por *Flooding* (d) Substituição FIFO e Busca por *Passeio Aleatório*

Figura 6.23 – Passos da busca x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 800 buscas

6.16 Utilização de Recursos de Armazenamento

A utilização de recursos de armazenamento é analisada partindo do número de unidades de armazenamento não utilizadas, isto é, número de espaços em discos dos nós não preenchidos por arquivos. As unidades de armazenamento dos nós que falharam são entendidas como unidades vazias no final da simulação.

6.17 Efeito das políticas de busca na utilização de recursos de armazenamento

De acordo com as simulações realizadas para avaliar os efeitos das políticas de busca na utilização de recursos de armazenamento, a política de busca por *Passeio Aleatório* possui um decrescimento linear variando de 5000 a 0 espaços vazios em disco em relação à probabilidade de falhas, para topologias de rede Anel, Estrela, Árvore, Erdős-Rényi e Barabási-Albert, não importando o número de buscas realizadas na simulação.

Nas simulações da política de busca por *Flooding*, topologias do tipo Anel e Estrela, ambas com 50 e 800 buscas, e Árvore com 50 buscas, observa-se um decrescimento linear variando de 5000 a 0 espaços vazios em disco em relação à probabilidade de falhas.

As Figuras 6.24, 6.28 e 6.26, mostram que a política de busca por *Flooding* interfere na utilização dos recursos de armazenamento. Este fenômeno ocorre porque em uma busca por *Flooding* tem maior probabilidade de encontrar o alvo da busca que a política por *Passeio Aleatório*. Com mais buscas encontradas, maior a chance de criar réplicas de acordo com a política de replicação, conseqüentemente, menor o número de unidades de armazenamento vazias.

6.18 Efeito das políticas de replicação na utilização de recursos de armazenamento

A influência das políticas de replicação só pôde ser percebida nos modelos de Árvore, Barabási-Albert e Erdős-Rényi. As topologias Anel e Estrela, apresentaram um decréscimo linear de 5000 a 0 unidades de armazenamento não utilizadas relacionadas com a probabilidade de falhas.

A política de replicação *Passiva*, por sua característica de criação de réplicas, acarreta em pouca utilização de recursos de armazenamento, como apresentado nas Figuras 6.24, 6.28 e 6.26.

As simulações que utilizam a política de replicação por *Caminho da Busca com Probabilidade*, são intermediárias à replicação *Passiva* e *Caminho da Busca*, aumentam a utilização de recursos de armazenamento de acordo com a probabilidade de replicação (Figuras 6.24, 6.28 e 6.26). Quanto maior a probabilidade de replicação, mais réplicas são criadas, menor é o número de unidades de armazenamento vazias.

Quando é utilizado na simulação a política de replicação por *Caminho da Busca*, existe melhor aproveitamento dos recursos de armazenamento em relação às simulações com replicação *Passiva* e *Caminho da Busca com Probabilidade*, este fato deve-se à característica da política de replicação *Caminho da Busca* criar réplicas em todos os nós percorridos pela busca, conseqüentemente, menos unidades de armazenamento vazias.

6.19 Efeito das políticas de substituição na utilização de recursos de armazenamento

As políticas de substituição não apresentaram relevâncias significativas no aproveitamento de recursos de armazenamento, nas Figuras 6.24, 6.28 e 6.26, apresentam gráficos

das políticas de substituição *Aleatória* e *FIFO*, mostrando a ausência de interferência das políticas de substituição na utilização de recursos de armazenamento.

6.20 Efeito das topologias de rede na utilização de recursos de armazenamento

A influência da topologia de rede só pode ser percebida nos modelos de *Árvore*, *Barabási-Albert* e *Erdős-Rényi*, estes modelos tiveram pequenas variações na quantidade de espaço de armazenamento não utilizado, referindo-se às topologias *Anel* e *Estrela*. Estas apresentaram um decrescimento linear de 5000 a 0 unidades de armazenamento não utilizadas em relação à probabilidade de falhas.

As simulações que utilizaram as topologias de *Erdős-Rényi* e *Barabási-Albert* apresentaram diferenças em relação às topologias *Anel*, *Estrela* e *Árvore* de acordo com o aproveitamento de recursos de armazenamento.

Em topologias do tipo *Erdős-Rényi* (Figura 6.28), quando não existem falhas a utilização de recurso de armazenamento inicia-se em 4200 na replicação *Passiva*, diminuindo de acordo com o número de réplicas criadas pela política de replicação por *Caminho da Busca com Probabilidade*, até 1750 na política de replicação *Caminho da Busca*, em que todos os nós do caminho recebem uma réplica.

Nas simulações de topologias de *Barabási-Albert* (Figura 6.26), o comportamento das políticas de replicação é o mesmo da topologia de *Erdős-Rényi*, porém iniciando com 4200 na política de replicação *Passiva*, diminuindo na replicação por *Caminho da Busca com Probabilidade*, até chegar em 2800 na política de replicação *Caminho da Busca*.

Figura 6.24 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Árvore com 800 buscas

Figura 6.25 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 50 buscas

Figura 6.26 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Barabási-Albert com 800 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição FIFO e Busca por *Flooding*

Figura 6.27 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 50 buscas

(a) Substituição Aleatória e Busca por *Flooding* (b) Substituição FIFO e Busca por *Flooding*

Figura 6.28 – Espaços Vazios em Nós x Falhas em rede modelo Erdős-Rényi com 800 buscas

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1 Conclusões

As principais conclusões dos estudos apresentados no Capítulo 6 referem-se a análises realizadas sobre tráfego de rede, localização de arquivos, utilização de espaço de armazenamento e sobrevivência de réplicas, todas sob diversas condições de falhas em nós.

De acordo com as simulações realizadas, a política de busca do tipo *Flooding* gera maior tráfego do que *Passeio Aleatório*, mas o acréscimo depende fortemente da topologia utilizada. As topologias com graus médios maiores apresentam uma sobrecarga maior de tráfego quando a política de busca é do tipo *Flooding*. Nos resultados da Seção 6.2 são apresentados gráficos que mostram a alta taxa de tráfego gerado pela política de busca *Flooding*.

Nas simulações que foram utilizadas política de busca por *Passeio Aleatório*, pode-se concluir que a topologia da rede não é determinante na quantidade de tráfego gerado por buscas. Estas conclusões são baseadas nos resultados da Seção 6.2.

O fator principal na sobrevivência de réplicas é a falha de nós. As perdas de arquivos são maiores devido às falhas em nós que à política de substituição. As perdas devido à substituição de réplicas se manifestam apenas para grandes quantidades de buscas realizadas, nesse caso aumentando conforme a política de replicação determina maior quantidade

de réplicas. Políticas de replicação que criam mais réplicas automaticamente geram mais substituição. Estas conclusões têm base nos resultados da Seção 6.6.

De acordo com os resultados apresentados na Seção 6.6, em simulações com baixa taxa de falhas, quando o elemento dominante na perda de arquivos é a substituição de réplicas, a política de substituição por *FIFO* é claramente inferior à substituição *Aleatória*.

A topologia também afeta a perda de arquivos em simulações com baixa taxa de falhas. Redes com maior número conexões resultam em maior perda de arquivos.

Em relação à localização de arquivos, uma busca que utiliza a política de busca por *Flooding* é capaz de encontrar o arquivo com um número menor de passos (apesar do tráfego bem maior) que uma busca que utiliza *Passeio Aleatório*.

Topologias aleatórias (Erdős-Rényi) com maior conectividade, apresentam melhores resultados na localização de arquivos, este é provavelmente um efeito das menores distâncias médias entre nós. Estas conclusões são baseadas nos resultados da Seção 6.11.

Quanto à utilização dos recursos de armazenamento da rede (Seção 6.16), como esperado, a quantidade de recursos utilizados depende fortemente da política de replicação utilizada. As políticas de replicação que geram mais réplicas (*Replicação por Caminho da Busca*) utilizam mais recursos. Já a influência da topologia de rede é determinante para as políticas com maior replicação de arquivos. Topologias de rede do tipo de Barabási-Albert apresentam maior utilização do espaço de armazenamento.

7.2 Trabalhos Futuros

Após esta etapa de pesquisa inicial sobre grades de dados, foram identificados pontos em que são necessários estudos mais profundos, deste modo, são sugeridos como possíveis trabalhos futuros:

- Estudar detalhadamente o efeito de diversas características topológicas, como grau médio, coeficiente de aglomeração, distribuição de graus, estrutura de comunidades (Pesquisa (28)) e etc, bem como diversos modelos de topologias de redes.
- Estender o estudo de sobrevivência de réplicas para situações com quantidades muito maiores de busca de arquivos, englobando entrada e saída dinâmica de novos arquivos na rede.
- Estudar outras políticas de substituição de réplicas, incluindo políticas que considerem informações sobre existência de réplicas em nós vizinhos.
- Averiguar a existência de uma correlação definida entre a distância média nas redes e o tamanho de busca médio, independente das políticas utilizadas, ou se existem políticas que podem amenizar o efeito da topologia na localização de arquivos.
- Pesquisar a razão da maior utilização de recursos de armazenamento nas redes que seguem o modelo de Barabási-Albert em relação às redes Erdős-Rényi, através de um estudo sistemático do efeito das características destas redes.
- Realizar simulações com maiores detalhes das redes (por exemplo, distintas capacidades de armazenamento nos nós e velocidades de transmissão de dados entre nós), para averiguar se esse tipo de variabilidade compromete os resultados aqui apresentados.
- Integrar as simulações de armazenamento de arquivos com simulações de requisição de arquivos (ao invés de apenas utilizar uma distribuição), por exemplo, através das simulações de *jobs* que necessitam de tais arquivos.
- Realizar levantamento da atividade de nós específicos e sua correlação com características topológicas desses nós.
- Encontrar ou propor topologias e políticas que possibilitem um bom compromisso entre tráfego, utilização de recursos de armazenamento, sobrevivência de réplicas, tolerância a falhas e eficiência na localização de arquivos. Propor protocolos de

construção de redes *peer-to-peer* que permitam a construção automática de redes com essas características.

REFERÊNCIAS

1 SZALAY, A.; GRAY, J. Science in an exponential world. *Nature*, London, v. 440, n. 7083, p. 413–414, 2006.

2 MUGGLETON, S. H. Exceeding human limits. *Nature*, London, v. 440, n. 7083, p. 409–410, 2006.

3 CHERVENAK, A.; FOSTER, I.; KESSELMAN, C.; SALISBURY, C.; TUECKE, S. The data grid: Towards an architecture for the distributed management and analysis of large scale scientific datasets. *Journal Network and Computer Applications*, v. 23, n. 1, p. 187–200, 2001.

4 LARSON, S. M.; SNOW, C. D.; SHIRTS, M. R.; PANDE, V. S. Folding@home and genome@home: using distributed computing to tackle previously intractable problems in computational biology. *Computational Genomics*, , n. 1, 2002.

5 BOGHOSIAN, B.; COVENEY, P. Guest editors' introduction: Scientific applications of grid computing. *Computers in Science and Engineering*, v. 7, n. 6, p. 10–13, 2005.

6 STOCKINGER, H.; SAMAR, A.; HOLTMAN, K.; ALLCOCK, W.; FOSTER, I.; TIERNEY1, B. File and object replication in data grids. *Cluster Computing*, v. 5, n. 3, p. 305–314, 2002.

7 FOSTER, I.; IAMNITCHI, A. On death, taxes and the convergence of peer-to-peer and grid computing. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 2735, n. 1, p. 118–128, 2003.

8 ANDROUTSELLIS-THEOTOKIS, S.; SPINELLIS, D. A survey of peer-to-peer content distribution technologies. *ACM Computer Survey*, v. 36, n. 4, p. 335–371, Dec 2004.

9 FOSTER, I.; KESSELMAN, C.; TUECKE, S. The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 2150, n. 1.

- 10 VENUGOPAL, S.; BUYYA, R.; RAMAMOHANARAO, K. A taxonomy of data grids for distributed data sharing, management, and processing. *ACM Computer Survey*, New York, NY, USA, v. 38, n. 1, p. 3, 2006.
- 11 LEBRUN, P. The large hadron collider, a megascience project. *CERN LHC Project Report*, Genova, , n. 374, p. 9, Apr.
- 12 DAVISON, B. D. A web caching primer. *IEEE Internet Computing*, Piscataway, USA, v. 5, n. 4, p. 38–45, 2001.
- 13 DILLEY, J.; MAGGS, B.; PARIKH, J.; PROKOP, H.; SITARAMAN, R.; WEIHL, B. Globally distributed content delivery. *IEEE Internet Computing*, Piscataway, USA, v. 6, n. 5, p. 50–58, 2002.
- 14 KRISHNAMURTHY, B.; WILLS, C.; ZHANG, Y. On the use and performance of content distribution networks. In: *ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement, 2001; San Francisco. Proceedings...*, New York; ACM, 2001, p. 169–182, 2001.
- 15 CERI, S.; PELAGATTI, G. *Distributed databases principles and systems*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, Inc., 1984.
- 16 IAMNITCHI, A.; FOSTER, I.; NURMI, D. C. A peer-to-peer approach to resource location in grid environments. In: *International Symposium on High-Performance Distributed Computing, 2002; Los Alamitos. Proceedings...*, Los Alamitos; IEEE Computer Society, 2002, 410 p., 2002.
- 17 BARABASI, A. L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. *Science*, Department of Physics, University of Notre Dame, Notre Dame, IN 46556, USA., v. 286, n. 5439, p. 509–512, October 1999.
- 18 ERDŐS, P.; RÉNYI, A. On random graphs. *Publicationes Mathematicae*, v. 6, p. 290–297, 1959.
- 19 IAMNITCHI, A.; FOSTER, I. A peer-to-peer approach to resource location in grid environments. *International Series in Operations Research and Management Science*, Norwell, MA, USA: [s.l.], 2003, , n. 64, p. 413–430.
- 20 JOVANOVIĆ, M. *Modeling large-scale peer-to-peer networks and a case study of gnutella*. 2000. Tese (Doutorado em Física) - University of Cincinnati, Department of Electrical and Computer Engineering and Computer Science, 2000.

- 21 THAMPI, S. M.; SEKARAN, C. K. Review of replication schemes for unstructured p2p networks. *In: IEEE International Advance Computing Conference, 2009; Patiala. Proceedings...*, Patiala, India; 2009, 7 p., 2009.
- 22 KRISHNAMURTHY, B.; WILLS, C.; ZHANG, Y. Replication methods for load balancing on distributed storages in p2p networks. *In: Symposium on Applications and the Internet, 2005; Trento. Proceedings...*, Trento; SAINT, 2005, p. 264–271, 2005.
- 23 BUYYA, R.; MURSHED, M. GridSim: A toolkit for the modeling and simulation of distributed resource management and scheduling for grid computing. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, v. 14, n. 13, p. 1175–1220, 2002.
- 24 CAMERON, D. G.; CARVAJAL-SCHIAFFINO, R.; MILLAR, A. P.; NICHOLSON, C.; STOCKINGER, K.; ZINI, F. Evaluating scheduling and replica optimisation strategies in OptorSim. *In: 4th International Workshop on Grid Computing, 2004; Phoenix. Proceedings...*, Phoenix; IEEE Computer Society, 2003, p. 52–59, 2003.
- 25 ROBINSON, S. *Simulation: the practice of model development and use*. New York: John Wiley & Sons, 2004.
- 26 RODRIGUES, F. *Caracterização, classificação e análise de redes complexas*. 2007. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- 27 MEDEIROS, R.; CIRNE, W.; BRASILEIRO, F.; SAUVE, J. Faults in grids: why are they so bad and what can be done about it? *In: Fourth International Workshop on Grid Computing, 2003; Phoenix. Proceedings...*, Phoenix; IEEE Computer Society, 2003, p. 18–24, 2003.
- 28 DA F. COSTA, L.; RODRIGUES, F.; TRAVIESO, G.; Villas Boas, P. Characterization of complex networks: A survey of measurements. *Advances in Physics*, London, v. 56, n. 1, p. 167–242, 2007.