

Hilton William Ganzo Perantunes

*Estudo da Viabilidade de Uso de Sistemas de
Arquivos Distribuídos em Telemedicina*

Florianópolis - SC, Brasil

12 de junho de 2008

Hilton William Ganzo Perantunes

***Estudo da Viabilidade de Uso de Sistemas de
Arquivos Distribuídos em Telemedicina***

Monografia apresentada para obtenção do Grau
de Bacharel em Sistemas de Informação pela
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador:

Mario Antônio Ribeiro Dantas

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA
CENTRO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Florianópolis - SC, Brasil

12 de junho de 2008

Monografia de Projeto Final de Graduação sob o título "*Estudo da Viabilidade de Uso de Sistemas de Arquivos Distribuídos em Telemedicina*", defendida por Hilton William Ganzo Perantunes e aprovada em 12 de junho de 2008, em Florianópolis, Estado de Santa Catarina, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Ph.D. Mario Antonio Ribeiro Dantas
Orientador

Prof. Dr. Renato Fileto
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Ronaldo dos Santos Mello
Universidade Federal de Santa Catarina

À pessoa que iniciou tudo isso, 25 anos atrás.

Agradecimentos

Dedico meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Mário Dantas e aos colegas Douglas Macedo e Thiago Coelho, do Cyclops Group, por terem me colocado nos trilhos para o desenvolvimento deste trabalho e contribuído em suas fases críticas. Um especial agradecimento ao "G7" formado por Marcos Santos, Luciano Costa e Luiz Rogério e a todos os "Nerds SIN" por terem me ajudado a chegar até este ponto. Por fim, agradeço aos familiares e amigos que de uma forma ou de outra acompanharam todo o processo.

Resumo

Muitos dos métodos de armazenamento e recuperação de informações para sistemas de Telemedicina, em sua maioria estão relacionados atualmente aos SGBDs convencionais. Este trabalho trata da verificação da viabilidade de um meio alternativo para o armazenamento de imagens médicas no formato DICOM utilizando sistemas de arquivos distribuídos como plataforma básica para armazenamento e o formato de dados HDF5 para hierarquização das imagens.

Palavras-chave: DICOM, Sistemas Distribuídos, HDF5, SGBDs, Telemedicina.

Lista de Siglas

ACR - American College of Radiology

API - Application Programming Interface

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

ATA - American Telemedicine Association

DICOM - Digital Imaging and Communications in Medicine

HDF - Hierarchical Data Format

LAN - Local Area Network

MPI - Message-Passing Interface

NEMA - National Electrical Manufacturers Association

NetCDF - Network Common Data Form

NFS - Network File System

PVFS - Parallel Virtual File System

RCTM - Rede Catarinense de Telemedicina

SGBD - Sistema Gerenciador de Banco de Dados

Lista de Figuras

2.1	Rede Catarinense de Telemedicina	p. 13
2.2	Sistema computacional distribuído (TANENBAUM; STEEN, 2007)	p. 15
2.3	Estrutura de um arquivo HDF5	p. 18
2.4	Exemplo conceitual de um arquivo HDF5	p. 19
2.5	Camada Virtual de Arquivos do HDF5	p. 19
3.1	Arquitetura da biblioteca de acesso para geração de arquivos HDF5	p. 22
4.1	Tempos de gravação no arquivo HDF5	p. 25
4.2	Tempos de leitura de metadados no HDF5	p. 26
4.3	Tempos médios de acesso no arquivo HDF5	p. 26

Sumário

1	Introdução	p. 10
1.1	Apresentação	p. 10
1.2	Motivação	p. 10
1.2.1	Objetivos Gerais	p. 10
1.2.2	Objetivos Específicos	p. 11
1.3	Delimitação de Escopo	p. 11
1.4	Justificativa	p. 11
1.5	Metodologia	p. 11
2	Estudo Bibliográfico	p. 12
2.1	Telemedicina	p. 12
2.1.1	Rede Catarinense de Telemedicina	p. 13
2.1.2	Padrão DICOM	p. 14
2.1.3	Conceito Tecnológico	p. 14
2.2	Sistemas de Computação Distribuída	p. 15
2.2.1	Clusters e Grids	p. 16
2.2.2	Parallel Virtual File System	p. 16
2.2.3	Hierarchical Data Format	p. 17
2.2.4	Arquitetura HDF5	p. 17
2.2.5	HDF5 em ambientes distribuídos	p. 19
3	Proposta	p. 21

3.1	Trabalhos Correlatos	p.23
4	Experimentos	p.24
4.1	Ambiente Experimental	p.24
4.2	Execução e Resultados	p.24
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	p.27
5.1	Conclusões	p.27
5.2	Trabalhos Futuros	p.28
	Referências Bibliográficas	p.29

1 Introdução

1.1 Apresentação

A popularização da internet, devido tanto a redução de preços dos equipamentos, como pela difusão das redes de computadores, tornou muito mais dinâmico e menos oneroso a comunicação entre duas ou mais entidades.

Com este cenário a telemedicina ganhou muito mais força, pois é uma forma de prover acesso à saúde das pessoas ou de comunidades que, podem estar isoladas ou desprovidas de pessoal médico qualificado. Sua utilização nestes casos pode reduzir o custo de transporte e maximizar a utilização do parque tecnológico instalado em hospitais e clínicas médicas.

1.2 Motivação

Com o crescimento demográfico populacional dos últimos anos, principalmente em áreas afastadas dos grandes centros urbanos, há uma grande necessidade por serviços médicos nestas localidades. Como muitas vezes, ou não se dispõe de recursos locais, ou mesmo não há atratividade regional de profissionais, os cidadãos podem ficar desassistidos.

Com o estudo realizado neste trabalho, busca-se contribuir para o desenvolvimento de tecnologias que aumentem a disponibilidade destes serviços através da telemedicina.

1.2.1 Objetivos Gerais

O principal objetivo deste trabalho adquirir informações técnicas sobre o sistema de arquivos de telemedicina, de forma a indicar ou não a sua viabilidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são a elaboração de um estudo sobre um ambiente computacional distribuído suportando a criação de arquivos HDF5 de forma integrada com um servidor de imagens médicas e a subsequente avaliação do desempenho de acesso a dados armazenados nesse formato.

1.3 Delimitação de Escopo

Não será neste momento demonstrado nenhum estudo comparativo com outros sistemas de arquivos de telemedicina, pois haveria uma maior complexidade devido ao contexto no qual eles foram desenvolvidos e estão inseridos.

1.4 Justificativa

Como as tecnologias empregadas para a construção do sistema de arquivos estão inseridas no estado da arte, faz-se necessário conhecer seu desempenho e capacidade para que se possa definir os próximos rumos de pesquisa, corrigindo ou reafirmando o já escolhido.

1.5 Metodologia

O trabalho realizado envolveu um estudo da bibliografia já existente sobre sistemas distribuídos e os manuais técnicos dos padrões DICOM e HDF5. O passo seguinte foi o estudo dos trabalhos relacionados a este tema, seguido da montagem do ambiente de testes, desenvolvimento da biblioteca utilizada nos mesmos e uma análise dos resultados obtidos.

2 *Estudo Bibliográfico*

Este capítulo irá fornecer o conceito da Telemedicina, bem como seu cenário atual. Também veremos o padrão DICOM, sendo na seqüência descrito algumas tecnologias relacionadas com o tema de sistema de arquivos distribuídos.

2.1 **Telemedicina**

A *American Telemedicine Association* (ATA, 2008) nos fornece o conceito de telemedicina como sendo *"o uso da troca de informação médica de um local para outro via comunicação eletrônica para melhorar o quadro médico do paciente"*.

Ainda conforme a ATA, a telemedicina não é uma especialidade médica em separado. Produtos e serviços relacionados com esta são geralmente parte de grandes investimentos em instituições de saúde, tanto em tecnologias de informação, como prestação de cuidados clínicos.

Apesar do início desta área ter sido no final dos anos 60, só na década de 70, com o surgimento da tomografia computadorizada e outras modalidades diagnósticos médicos a partir de imagens é que se intensificou o uso de computadores em aplicações médicas (MAIA, 2006).

Segundo Bashshur (2002), o histórico da telemedicina pode ser dividida em três eras:

- Era da Telecomunicação, durante a década de 70 e inícios de 80, onde a telemedicina dependia de tecnologias de comunicação não confiáveis ou de custos elevado como as transmissões de televisão.
- Era Digital, a partir de meados da década de 80 até finais da década de 90, onde a telecomunicação via rede de computadores, as imagens digitais e o computadores são a base dos sistemas. Nesse período tornou-se possível e acessível a comunicação segura entre as partes interessadas, comunicação essa que poderia prover teleconferências as um custo muito mais baixo e fácil do que a da era anterior via televisão. Nessa era também se

tornou possível o acesso a distância de matérias de pesquisa, como artigos e teleeducação aos médicos.

- Era da Internet, a partir do final da década de 90, com a popularização das tecnologias desenvolvidas na era anterior e com o aumento da capacidade de processamento e queda de custos dos computadores. A grande diferença dessa fase para a anterior, é que ela realmente elimina as fronteiras tornando possível a comunicação global.

De modo geral os projetos em curso atualmente tem como objetivo comum diminuir o custo e facilitar o acesso de pacientes em ambientes distantes, ou mesmo de especialistas médicos de grandes centros. Entretanto eles diferem completamente em termos de implementação e funcionalidade (MACEDO, 2008).

2.1.1 Rede Catarinense de Telemedicina

A Rede Catarinense de Telemedicina (RCTM) é um projeto em conjunto com a Secretaria de Estado da Saúde de Santa Catarina com o objetivo de integrar diversas unidades da rede hospitalar do Estado, permitindo realizar o processamento em larga escala exames médicos e da entrega eletrônica de seus resultados (Figura 2.1). A integração do sistema eletrônico possibilita uma maior agilidade no processo de tomada de decisão da forma como deve proceder o tratamento posterior de um paciente, após um exame.

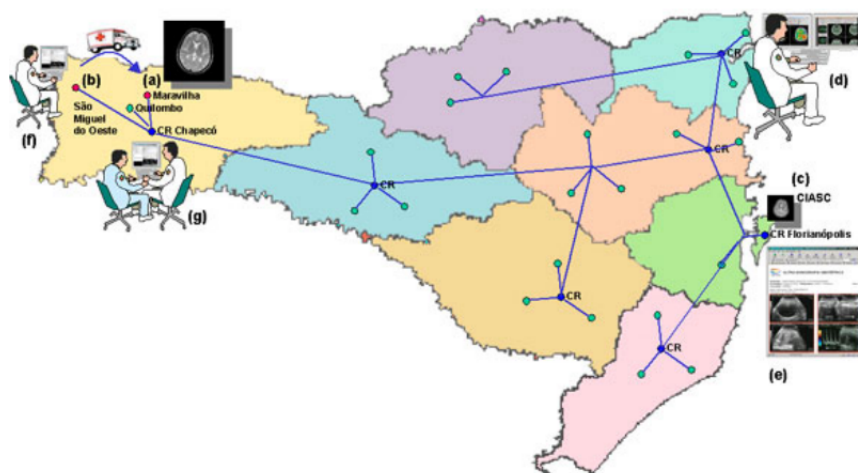


Figura 2.1: Rede Catarinense de Telemedicina

A fase de projeto-piloto da RCTM foi concluída em dezembro de 2005, sendo que atualmente o sistema está operando em 54 municípios do Estado, atenuando alguns dos problemas decorrentes da centralização dos serviços de saúde, como a necessidade de grandes desloca-

mentos por parte de médicos e pacientes para a realização de exames e a demora na elaboração e entrega de diagnósticos (MAIA, 2006).

2.1.2 Padrão DICOM

O objetivo do padrão DICOM é possibilitar a comunicação do diagnóstico, informações terapêuticas, imagens e dados associados de qualquer tipo. Conectividade e compatibilidade são os principais objetivos. Atualmente, a maioria das companhias que produzem equipamentos para propósitos médicos são membros do Comitê DICOM, no qual os usuários do padrão são representados por sociedades científicas e comunidades acadêmicas.

O desenvolvimento do padrão DICOM teve início na cooperação entre o órgão *American College of Radiology* (ACR) com a *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), ambos órgãos norte-americanos em 1983, com a fundação de um comitê para a criação de uma possibilidade de transferência de dados independente dos padrões de cada fabricante. O primeiro padrão a ser conhecido como DICOM foi apresentado pelo comitê em 1993, integrando a especificação de um protocolo de rede baseado no modelo OSI/ISO e o uso de TCP/IP. Também foram incluídos nesta versão da especificação uma estrutura de dados baseada em um modelo com identificadores únicos para serviços e objetos, incluindo imagens, informações sobre pacientes ou relatórios.

2.1.3 Conceito Tecnológico

O padrão DICOM inclui estruturas de dados para imagens médicas e informações associadas, serviços para transferência de imagens ou impressão, formatos para troca de dados entre sistemas heterogêneos e mecanismos para consistência e qualidade de apresentação. Os componentes centrais das estruturas de dados são chamados *Information Object Definitions* (IODs), sendo definidos tanto para dados de imagens quanto para dados associados a essas imagens, como relatórios, por exemplo. Além disso, o formato especifica um cabeçalho descritivo, contendo uma lista de atributos para a imagem.

Cada atributo em um IOD de uma imagem DICOM possui um significado bem definido. Os dados são divididos em vários grupos. Por exemplo, o grupo 8 descreve a modalidade e as características do exame, enquanto o grupo 10 é reservado para informações sobre o paciente, e assim por diante. O padrão descreve dois IODs especialmente importantes, chamados *Unique Identifiers* (UIDs), que são identificadores únicos e não-ambíguos para o estudo e a série da imagem gerada. Alguns dos atributos são obrigatórios, como os UIDs, enquanto outros são

opcionais. Existem também atributos privados, que podem ser utilizados por fabricantes para armazenar dados proprietários que não podem ser interpretados por equipamentos de outros fabricantes. O padrão provê serviços de rede para a transferência de informações, suporte a gerenciamento de *workflow* e um serviço que pode ser utilizado entre os equipamentos que geram imagens médicas e aplicativos que as armazenam, que tem por objetivo organizar seu armazenamento.

Basicamente, os serviços mencionados anteriormente descrevem apenas a comunicação e troca de dados, sem interferir em como os mesmos serão interpretados por uma aplicação que faça uso do padrão. Adicionalmente, existem dois outros serviços voltados para a definição da consistência e qualidade da reprodução das imagens: o *Display Grayscale Standard*, projetado para oferecer uma visualização consistente da imagem em diferentes modos de exibição de diferentes sistemas, e o *DICOM Structured Reporting*, que permite a criação e gerenciamento de relatórios no formato.

2.2 Sistemas de Computação Distribuída

Um sistema de computação distribuída é aquele no qual os componentes de hardware ou software localizados em computadores se comunicam e coordenam suas ações apenas enviando mensagens entre si, quando interligados em uma rede, possibilitando o compartilhamento de recursos e informações entre os mesmos (COULOURIS; DOLLIMORE; KINDBERG, 2005).

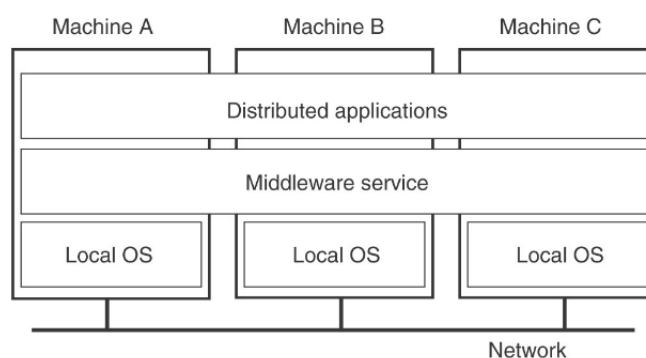


Figura 2.2: Sistema computacional distribuído (TANENBAUM; STEEN, 2007)

Outra definição possível para o termo é um conjunto de computadores independentes que se apresenta a seus usuários como um sistema único e coerente (TANENBAUM; STEEN, 2007), o que reforça a idéia de elementos computacionais autônomos que trocam informações entre si, formando um sistema distribuído. Atualmente é comum observar sistemas computacionais, como da Figura 2.2, que utilizam middlewares para permitir o uso de aplicações distribuídas

em redes de computadores, conforme essa descrição.

2.2.1 Clusters e Grids

Os *clusters* computacionais, também conhecidos como agregados computacionais, tem como seu maior objetivo a agregação de recursos computacionais para disponibilizá-los para a melhoria de aplicação (DANTAS, 2005). Esta disponibilização pode se dar através das seguintes formas de configuração:

- Não dedicada: os computadores estão conectados na rede, porém sem interoperabilidade dos recursos. Para que eles interajam é necessária a programação de alguma aplicação.
- Dedicada: utilizam pacotes de software centrais que são responsáveis pelo controle lógico do ambiente agregado.

Já o *grid* computacional pode ser definido como uma infra-estrutura de hardware e software que permite, de forma consistente, generalizada, barata e confiável, o acesso a recursos computacionais de alto desempenho.

Segundo Dantas (2005), a diferença fundamental entre uma configuração de *grid* e uma outra caracterizada como ambiente distribuído convencional é referente à grande quantidade de serviços e recursos que os ambientes de *grid* focam no seu compartilhamento.

Uma divisão usual dos tipos de *grid* é entre os puramente computacionais e os com maior capacidade de armazenamento. Stockinger (2007) cita ainda a seguinte classificação adicional:

- *Grids Colaborativos* : envolvem múltiplas organizações e indivíduos, domínios seguros, protocolos, mecanismos de descoberta, etc.
- *Enterprise Grids* : complexo como o item anterior, mas envolvendo também um completo ciclo de vida de desenvolvimento de serviços, provisões e gerenciamento.
- *Cluster Grids* : requer uma alta performance computacional, geralmente lidando com escalonamento de carga. Tendem a ser estáticos, ao contrário do item anterior que era dinâmico.

2.2.2 Parallel Virtual File System

O *Parallel Virtual File System* (PVFS) é um tipo de sistema de arquivos, para Linux e de código aberto, que distribui os dados de arquivos entre diversos servidores e possibilita o

acesso concorrente aos dados por múltiplas tarefas de uma aplicação paralela. O sistema é desenvolvido para o uso em larga escala por *clusters*, focando em acesso de grandes conjuntos de dados (CARNS et al., 2000). O mesmo consiste de um processo servidor e uma biblioteca cliente, sendo que o código deve ser construído inteiramente na camada de aplicação. A biblioteca cliente possibilita um acesso de alta performance através da *Message-Passing Interface* (MPI).

Um sistema de arquivos paralelo não prove uma ótima performance para programas seriais ou tarefas individuais. Por causa da alta performance o sistema de arquivos é projetado para um propósito diferente, ele não deve ser um substituto para o *Network File Systems* (NFS). Ao contrário, ele complementa as funcionalidades providas pelo NFS (SLOAN, 2004).

2.2.3 Hierarchical Data Format

HDF é a sigla para *Hierarchical Data Format* (HDF, 2007), desenvolvido e mantido por um grupo de trabalho do parque de pesquisas da Universidade de Illinois nos Estados Unidos. Trata-se um formato de arquivos, associado a uma biblioteca de funções e um conjunto de aplicativos, projetado para permitir de forma eficiente e independente de plataforma o acesso a dados em sistemas computacionais (BENGER et al., 2000). O HDF conta com uma boa adesão por parte da comunidade científica, sendo que atualmente a biblioteca está em sua quinta versão, o HDF5.

2.2.4 Arquitetura HDF5

Arquivos HDF5 são organizados em uma estrutura hierárquica. Esta, pode ser vista como uma árvore de diretórios dentro de um arquivo. Suas duas estruturas primárias são *groups* e *datasets* (HDF, 2007). Um HDF5 *group* é uma estrutura de agrupamento que pode conter zero ou mais instâncias de *groups* ou *datasets*, juntamente com seus metadados, enquanto um HDF5 *dataset* é um array multidimensional de dados também em conjunto com seus metadados. Conforme exibido na Figura 2.3 de forma mais detalhada, um grupo contém zero ou mais HDF5 *objects* (*groups* ou *datasets*), e é composto por duas partes: a primeira é formada por um cabeçalho contendo o nome do grupo e uma lista de atributos, sendo que a segunda parte é uma tabela de símbolos com uma listagem dos objetos HDF5 que pertencem ao grupo.

Já um *dataset* possui um cabeçalho e um array de dados. O cabeçalho possui quatro informações importantes sobre os dados armazenados no mesmo:

- Um nome, que é uma seqüência de caracteres alfanuméricos ASCII cujo propósito é

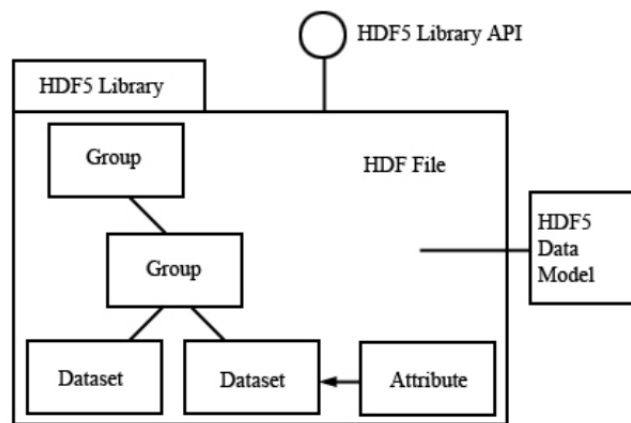


Figura 2.3: Estrutura de um arquivo HDF5

identificá-lo.

- Um datatype, que, como o nome sugere armazena informa o tipo dos dados que estão sendo armazenados, podendo ser atômico ou composto.
 - Tipos de dados atômicos pertencem a uma classe específica e possuem propriedades como tamanho, ordem, precisão e offset. As classes de dados incluem os tipos integer, float, string, bit field e opaque.
 - Tipos de dados compostos são formados por vários tipos tipos de dados atômicos ou outros tipos compostos.
- Um dataspace, que descreve a dimensionalidade do conjunto de dados. As dimensões do conjunto podem ser fixas ou ilimitadas. Um dataspace também pode descrever várias seções do conjunto de dados, permitindo a realização de operações de acesso parcial aos dados.

Na Figura 2.4, há um exemplo conceitual de um arquivo HDF5, permitindo uma melhor compreensão de sua estrutura. O arquivo *sample.h5* é composto pelos seguintes itens:

- Um grupo no nível mais alto, chamado “/”;
- O grupo “/MyGroup”, que contém o dataset “/MyGroup/dset1”;
- O grupo “/MyGroup/GroupA”, contendo o dataset “/MyGroup/GroupA/dset2”;
- O grupo “/MyGroup/GroupB”, que está vazio.

```

HDF5 "sample.h5" {
  GROUP "/" {
    GROUP "MyGroup" {
      GROUP "Group_A" {
        DATASET "dset2" {
          DATATYPE H5T_STD_I32BE
          DATASPACE SIMPLE { ( 2, 10 ) / ( 2, 10 ) }
          DATA {
            1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,
            1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
          }
        }
      }
    }
    GROUP "Group_B" {
    }
    DATASET "dset1" {
      DATATYPE H5T_STD_I32BE
      DATASPACE SIMPLE { ( 3, 3 ) / ( 3, 3 ) }
      DATA {
        1, 2, 3,
        1, 2, 3,
        1, 2, 3
      }
    }
  }
}
    
```

Figura 2.4: Exemplo conceitual de um arquivo HDF5

2.2.5 HDF5 em ambientes distribuídos

Em um dos artigos estudados com propostas de utilização do HDF5 (ROSS et al., 2001), foram realizados testes de desempenho de acesso a dados com o formato sobre um sistema de arquivos distribuído (PVFS) utilizando uma implementação do MPI-IO como camada intermediária entre as duas tecnologias. Os resultados dos testes descritos no artigo foram satisfatórios, sugerindo que o uso da arquitetura é uma solução interessante a ser avaliada na telemedicina.

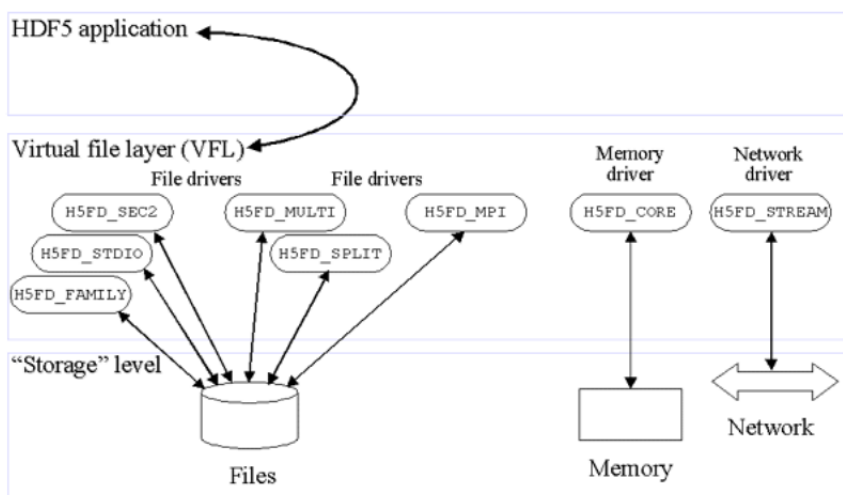


Figura 2.5: Camada Virtual de Arquivos do HDF5

A flexibilidade no uso de diversas soluções na “camada de armazenamento” de aplicações que utilizam HDF5 se deve à sua *Virtual File Layer* exibida na Figura 2.5, sendo esta uma API

de baixo nível para acesso a dados. Isso permite que gerenciadores sejam implementados para diferentes formas de armazenamento.

Uma dessas implementações é nativamente escrita para utilizar MPI-IO, tornando possível o uso do ROMIO/PVFS.

3 *Proposta*

Com o uso das tecnologias no Capítulo 2, foi iniciada a preparação de um ambiente em que imagens médicas no formato DICOM pudessem ser armazenadas no formato HDF5 em um ambiente distribuído, em adição aos métodos já suportados pela plataforma responsável pelo processamento das imagens, como bancos de dados relacionais. Tal meio possibilita a realização de comparações, buscando analisar os tempos de gravação e recuperação de dados nos dois métodos.

O primeiro passo para a preparação do ambiente foi a criação de uma pequena biblioteca formada por um objeto *wrapper* que contém os métodos de criação e armazenamento de informações específicas de imagens DICOM, obtidas por meio do servidor de imagens. A biblioteca é utilizada como um módulo à parte do CyclopsDCMServer e o objeto é instanciado de forma similar aos outros métodos de armazenamento disponíveis no servidor.

O passo seguinte foi a montagem de um sistema de arquivos compartilhado, obtido por meio da utilização do PVFS2 em cada um dos nodos do agregado computacional. No momento em que o CyclopsDCMServer solicita a criação de um novo arquivo HDF5, este é criado diretamente no ambiente compartilhado.

Para a leitura inicial dos dados de uma imagem médica, foi necessário separá-los em duas categorias: elementos de dados comuns e imagem. Os elementos de dados comuns são os metadados da imagem, criados durante a geração da mesma, como os identificadores únicos da imagem e de sua série, informações sobre o paciente, dimensões e outras características da imagem. A outra categoria é a representação binária da figura gerada pelo equipamento médico, como uma tomografia ou cardiograma, por exemplo. Para o armazenamento no formato HDF5, optou-se por referenciar todos os elementos de dados comuns no formato *string*, enquanto as imagens são armazenadas em uma representação numérica gerada pela API HDF5 Image, de mais alto nível, própria para trabalhar com imagens.

Outro aspecto considerado durante o estudo foi a adoção de uma estrutura hierárquica para representar cada imagem dentro de um arquivo HDF5. Considerando as informações disponí-

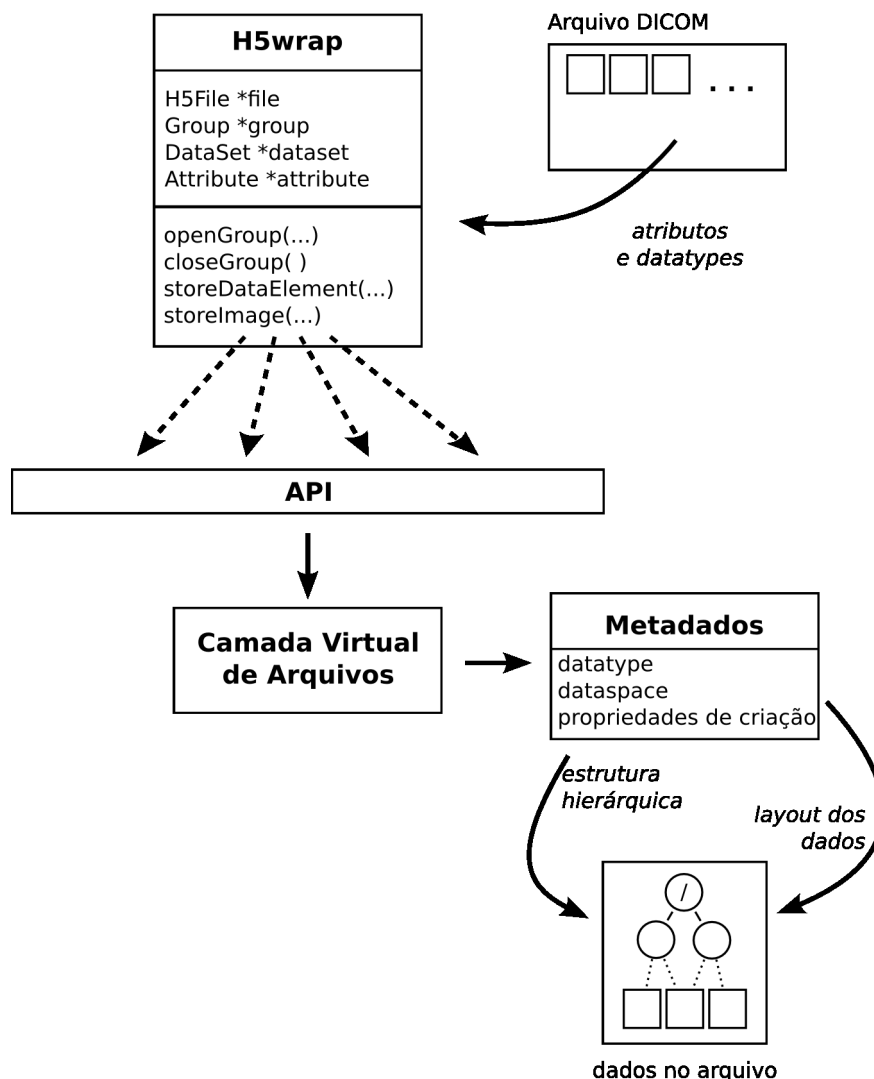


Figura 3.1: Arquitetura da biblioteca de acesso para geração de arquivos HDF5

veis dentro das imagens em formato DICOM, optou-se por utilizar uma estrutura em camadas. As cinco camadas da hierarquia possibilitam uma estrutura organizacional satisfatória para o experimento realizado, permitindo uma visualização razoável, bom desempenho e praticidade de acesso aos dados.

A hierarquia é criada no arquivo HDF5, no momento da obtenção dos dados da imagem no CyclopsDCMServer, por meio de chamadas aos métodos do objeto *wrapper*, criando um *path* formado por grupos dentro do arquivo. Uma vez que o objeto esteja aberto no grupo desejado, dois métodos de acesso estão disponíveis para o armazenamento dos dois diferentes tipos de informação obtidos do arquivo original. Tais métodos também permitem que informações sobre esses dados sejam recebidos pelo objeto *wrapper* e associados às informações originais.

Uma vez que todas as informações de um determinado arquivo DICOM sejam obtidas e gravadas no arquivo HDF5, um ou mais grupos são fechados e uma nova iteração é realizada

para o armazenamento de uma nova imagem no mesmo arquivo. Quando o ciclo acaba, observa-se a existência de possíveis erros em sua criação e em caso negativo o processo de gravação iniciado pelo CyclopsDCMServer é encerrado.

3.1 Trabalhos Correlatos

A aplicação do HDF5 para manipulação de dados médicos ainda é um tema pouco estudado. Uma das causas para isso é o fato de a maioria dos servidores de imagens médicas possuir apenas *drivers* específicos para armazenamento de informações em bancos de dados relacionais. Entretanto, o HDF5 é utilizado em uma vasta área de aplicações com diferentes abordagens principalmente em aplicações científicas e tecnológicas para tratamento de grandes quantidades de dados, como podemos observar nos trabalhos de Cohen et al. (2006), Gosink et al. (2006), Lee e Spence (2002) e Yu et al. (2006).

No trabalho de Cohen et al. (2006) é apresentado um estudo baseado em extensões de sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais que permitem a representação de dados científicos e operações estatísticas comuns. Foram utilizados o NetCDF e o HDF, dois dos formatos científicos mais populares. Nesse trabalho, ainda foram realizadas operações estatísticas utilizando as extensões dos SGBDs em comparação com as operações nativas do NetCDF e HDF.

Uma nova abordagem para acelerar os acessos a grandes arquivos HDF5 é apresentada por Gosink et al. (2006), utilizando uma indexação semântica multi-dimensional chamada HDF5-FastQuery. Os resultados desse trabalho demonstraram que essa abordagem chega a ser duas vezes mais eficiente na recuperação de dados do que os métodos padrão utilizados pela API nativa do HDF5.

Lee e Spence (2002) descrevem o desenvolvimento de uma ferramenta elaborada pelo time CERES (*Clouds and Earth's Radiant Energy System*) de Gerenciamento de Dados, parte do Sistema de Observação da Terra, da agência espacial norte-americana. A ferramenta permite a visualização das informações armazenadas nos *datasets* HDF por meio de uma interface gráfica com o usuário.

Já Yu et al. (2006) realizam em seu trabalho uma série de avaliações de desempenho em gravações de dados de forma paralela. São realizados diversos testes de leitura e escrita por meio de interfaces paralelas de alto nível do HDF e NetCDF em ambientes com grande número de processadores, como o supercomputador Blue Gene/L.

4 *Experimentos*

Para avaliar o modelo proposto, decidiu-se por realizar um comparativo entre o armazenamento das imagens médicas no formato HDF5 e o por meio do método atualmente utilizado pelo Cyclops DCMServer, que é a gravação das imagens no banco de dados relacional PostgreSQL. Nesse banco de dados, as informações sobre as imagens DICOM estão dispostas segundo a seguinte estrutura: quatro tabelas para armazenar os elementos de dados comuns e meta-informações e uma tabela capaz de gravar os arquivos inteiramente em formato binário, como *large objects*.

4.1 **Ambiente Experimental**

Os cenários avaliados foram desenvolvidos em um ambiente de testes composto por três máquinas com as seguintes características: processador Intel de 2.53Ghz, 256Mb de memória RAM, além de uma quarta máquina cujas características apenas diferem na quantidade de memória: 512Mb. As máquinas utilizam o sistema operacional Debian GNU/Linux, com kernel versão 2.6.22 e foram conectadas por meio de uma LAN de 100Mbits.

Cada uma das máquinas foi configurada com uma área compartilhada de disco utilizando o PVFS2 com a comunicação facilitada por meio do uso do NFS, que permite montar partições de disco em máquinas remotas como se as mesmas pertencessem a um disco local.

4.2 **Execução e Resultados**

O primeiro experimento consistiu na gravação de um conjunto de dados, composto por cerca de 2.500 imagens DICOM, ocupando um espaço total em disco de aproximadamente 1Gb. Os arquivos foram originalmente organizados pelo nome do paciente, sendo que cada paciente pode possuir um ou mais estudos com diversas séries de imagens. As imagens foram geradas por equipamentos de tomografia computadorizada, produzindo figuras monocromáticas

de 512 pixels de altura e largura.

Uma segunda experiência foi realizada para a obtenção dos tempos de acesso a uma imagem específica, novamente comparando a busca em um banco de dados relacional e em um arquivo HDF5 gravado em um sistema de arquivos distribuído. As tabelas utilizadas na consulta e o arquivo armazenado são as mesmas utilizadas na obtenção dos tempos de gravação dos dados.

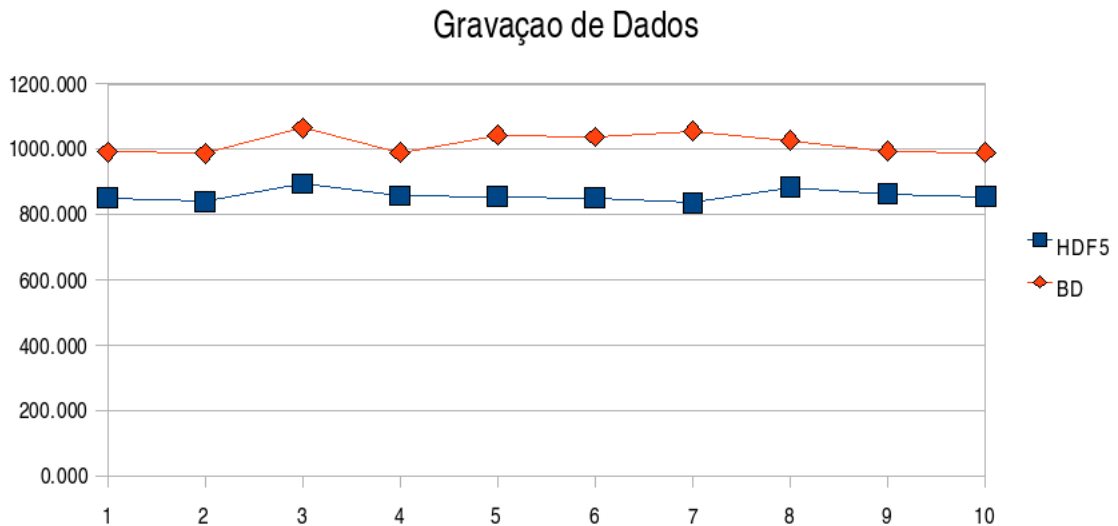


Figura 4.1: Tempos de gravação no arquivo HDF5

Iterações foram realizadas no acesso aos dados de uma imagem escolhida de forma aleatória, para ser recuperada das duas estruturas de armazenamento. No banco de dados relacional, a consulta aos dados da imagem foi realizada de forma que ao final da consulta a imagem estivesse carregada, na memória principal do servidor, em formato binário, pronta para ser armazenada em disco.

Já no acesso ao arquivo no formato HDF5, devido ao fato de os dados não estarem armazenados em formato binário, foi criada uma extensão na biblioteca de forma que os dados de uma imagem DICOM pudessem ser armazenados em uma estrutura de dados projetada apenas para recuperar para a memória os elementos de dados de uma imagem específica, a fim de simular o mesmo método em que o banco de dados trabalha.

É possível perceber que existe uma diferença constante entre os tempos obtidos a partir do banco de dados em comparação aos acessos ao arquivo HDF5, sendo que a vantagem agora passa a ser do banco de dados relacional.

Observa-se também o registro dos tempos, em segundos, utilizado na gravação e leitura do conjunto de imagens para o servidor do banco de dados relacional e para o agregado computacional com sistema de arquivos distribuído. É possível visualizar também que a leitura utilizando

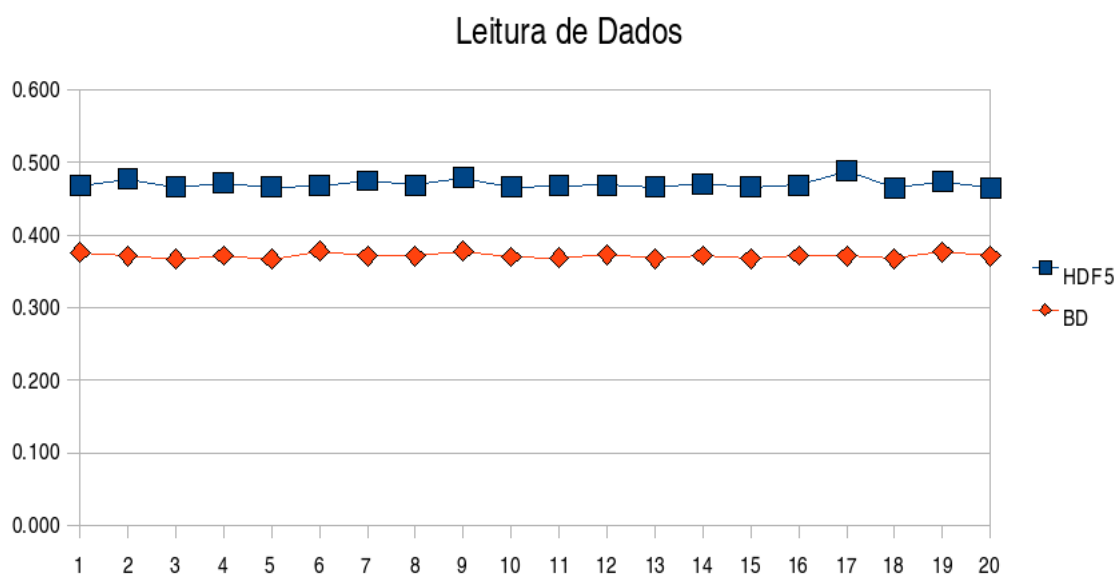


Figura 4.2: Tempos de leitura de metadados no HDF5

o método HDF5 foi cerca de 26% mais lento, se comparando com a recuperação das imagens no bancos de dados. Entretanto, a gravação das imagens DICOM hierarquizadas, utilizando sistemas de arquivos distribuídos foi 16% superior.

	Gravação		Leitura	
	HDF5	BD	HDF5	BD
média (segundos)	858.729	1018.765	0.470	0.372

Figura 4.3: Tempos médios de acesso no arquivo HDF5

Pela análise dos resultados obtidos, percebe-se que existe um ganho de desempenho significativo no armazenamento dos arquivos DICOM no formato HDF5 em sistemas de arquivos distribuídos, em comparação ao armazenamento em um banco de dados relacional. Também é possível observar a menor variação nos tempos de armazenamento no sistema de arquivos distribuído. As médias de tempo foram de 858,73 segundos para a gravação no PVFS em formato HDF5 e de 1018,77 segundos para a gravação no banco de dados relacional.

5 *Conclusões e Trabalhos Futuros*

Este capítulo irá apresentar alguns resultados obtidos com o desenvolvimento do trabalho e apontar possíveis trabalhos futuros na mesma linha de pesquisa.

5.1 **Conclusões**

Neste estudo foi abordado um método para armazenamento alternativo de imagens médicas no formato DICOM, utilizando o formato de dados hierárquico HDF5 em sistemas de arquivos distribuídos, realizando uma comparação com o método tradicional que utiliza bancos de dados relacionais. Foi desenvolvido um modelo de dados a ser utilizado na hierarquização das imagens e ainda um modelo de acesso aos dados, utilizando uma simples biblioteca de acesso.

Como resultado deste trabalho, é possível citar que no armazenamento das imagens médicas em sistemas de arquivos distribuídos, sob o formato HDF5, foi constatado que mesmo teve um desempenho cerca de 16% superior em comparação com o método utilizando bancos de dados. Por outro lado, no momento da recuperação dos dados das imagens, o método utilizando bancos de dados foi superior cerca de 26%, em comparação a arquitetura proposta.

Adicionalmente, um outro resultado alcançado pelo trabalho, foi um modelo de operação e acesso aos dados, representado pela biblioteca de acesso, que pode interagir e integrar-se com outros tipos de estruturas distribuídas, como por exemplo, malhas computacionais. Dessa forma, facilitando o desenvolvimento de novos métodos para acesso a imagens médicas DICOM no formato de dados HDF5.

Dessa forma, observa-se que é possível o desenvolvimento de métodos alternativos para gravação e recuperação de dados médicos em ambientes distribuídos obtendo um desempenho razoável, contando ainda com a possibilidade de melhorar as métricas de acesso caso as diferentes variáveis de um ambiente desse tipo sejam exploradas com essa finalidade.

5.2 Trabalhos Futuros

Estudos mais profundos em relação a paralelização das consultas realizadas no arquivo HDF5 sobre o sistema de arquivo distribuído, sugerem uma melhora significativa no desempenho do sistema, visto que, da mesma forma, a aplicação de métodos de escrita paralela no ambiente distribuído também pode melhorar significativamente o desempenho do armazenamento.

Adicionalmente, um outro estudo possível para trabalhos futuros, seria a utilização de armazenamento das imagens em formato HDF5 em malhas computacionais, utilizando de softwares para armazenamento distribuído. Para a recuperação das imagens, seria possível utilizar web-services para intermediar as operações entre as entidades do sistema.

Referências Bibliográficas

- ATA. *American Telemedicine Association*. 2008. Disponível em: <http://www.atmeda.org> - último acesso: 30/06/2008.
- BAER, T.; WYCKOFF, P. A parallel i/o mechanism for distributed systems. In: *CLUSTER '04: Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Cluster Computing*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004. p. 63–69. ISBN 0-7803-8694-9.
- BASHSHUR, R. L. Telemedicine and health care. *Telemedicine Journal and e-Health*, Mary Ann Liebert, Inc., v. 8, n. 1, 2002.
- BENGER, W. et al. Efficient distributed file I/O for visualization in grid environments. In: ENGQUIST, B. et al. (Ed.). *Simulation and Visualization on the Grid*. Estocolmo, Suécia: Springer Verlag, 2000, (Lecture Notes in Computational Science and Engineering, v. 13). p. 1–6.
- BUYYA, R. *High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 1999. ISBN 0130137847.
- CALDERON, A. et al. A fault tolerant mpi-io implementation using the expand parallel file system. In: *PDP '05: Proceedings of the 13th Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005. p. 274–281. ISBN 0-7695-2280-7.
- CARNS, P. H. et al. Pvf: a parallel file system for linux clusters. In: *ALS'00: Proceedings of the 4th conference on 4th Annual Linux Showcase & Conference, Atlanta*. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 2000. p. 28–28.
- COHEN, S. et al. Scientific formats for object-relational database systems: a study of suitability and performance. *SIGMOD Rec.*, ACM, New York, NY, USA, v. 35, n. 2, p. 10–15, 2006. ISSN 0163-5808.
- COULOURIS, G.; DOLLIMORE, J.; KINDBERG, T. *Distributed Systems: Concepts and Design*. 4^a. ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2005. ISBN 0321263545.
- CYCLOPS. *The Cyclops Project*. 2008. Disponível em: <http://www.cyclops.ufsc.br> - último acesso: 30/06/2008.
- DANTAS, M. A. R. *Computação Distribuídas de Alto Desempenho: Redes, Clusters e Grids Computacionais*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Axcel Books, 2005. ISBN 8573232404.
- DICOM. *Digital Imaging and Communications in Medicine, Introduction and Overview*. 2007. Disponível em: <http://DICOM.nema.org> - último acesso: 29/06/2008.

FOLK, M.; MCGRATH, R. E.; YEAGER, N. Hdf: An update and future directions. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE International, v. 1, p. 273–275, 1999.

GARCÍA-CARBALLEIRA, F. et al. A global and parallel file system for grids. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier B.V., 2006.

GOSINK, L. et al. Hdf5-fastquery: Accelerating complex queries on hdf datasets using fast bitmap indices. In: *SSDBM '06: Proceedings of the 18th International Conference on Scientific and Statistical Database Management*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006. p. 149–158. ISBN 0-7695-2590-3.

HDF. *HDF5 User's Guide*. 2007. Disponível em: <http://hdfgroup.org> - último acesso: 29/06/2008.

HILDEBRAND, D.; WARD, L.; HONEYMAN, P. Large files, small writes, and pnfs. In: *ICS '06: Proceedings of the 20th annual international conference on Supercomputing*. New York, NY, USA: ACM, 2006. p. 116–124. ISBN 1-59593-282-8.

LEE, K.-P.; SPENCE, P. L. view-hdf: Visualization and analysis tool for hierarchical data format files. *Oceans '02 MTS/IEEE*, IEEE, v. 2, p. 744–750, 2002.

LIGON, W.; ROSS, R. *PVFS: parallel virtual file system*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2002. 391–429 p. ISBN 0-262-69274-0.

MACEDO, D. D. J. de. Um estudo de estratégias de sistemas distribuídos aplicadas a sistemas de telemedicina. *EGC - CTC - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC*, 2008. Tese de Mestrado.

MAIA, R. S. Um sistema de telemedicina de baixo custo em larga escala. *INE - CTC - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC*, 2006. Tese de Mestrado.

MEGLICKI, Z. *High Performance Data Management and Processing*. 2004. Disponível em: <http://beige.ucs.indiana.edu/I590/I590.html> - último acesso: 29/06/2008.

MPICH2. *Argonne National Laboratory*. 2008. Disponível em: <http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpich2> - último acesso: 29/06/2008.

PVFS. *Parallel Virtual File System*. 2008. Disponível em: <http://www.pvfs.org> - último acesso: 30/06/2008.

RAN, L. et al. Architecture design of global distributed storage system for data grid. *High Technology Letters*, Institute of Scientific and Technical Information of China, v. 9, p. 1–4, 2003.

ROSS, R. et al. A case study in application i/o on linux clusters. In: *Supercomputing '01: Proceedings of the 2001 ACM/IEEE conference on Supercomputing (CDROM)*. New York, NY, USA: ACM, 2001. p. 11–11. ISBN 1-58113-293-X.

SLOAN, J. D. *High Performance Linux Clusters with OSCAR, Rocks, OpenMosix, and MPI*. Sebastopol, CA, USA: O Reilly Media, 2004. ISBN 0-596-00570-9.

STOCKINGER, H. Defining the grid: a snapshot on the current view. *J. Supercomput.*, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 42, n. 1, p. 3–17, 2007. ISSN 0920-8542.

TANENBAUM, A. S.; STEEN, M. V. *Distributed Systems: Principles and Paradigms*. 2^a. ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2007. ISBN 0132392275.

TELEMEDICINA. *Laboratório de Telemedicina*. 2008. Disponível em: <http://www.telemedicina.ufsc.br> - último acesso: 30/06/2008.

WU, J.-J.; LIN, Y.-F.; LIU, P. Efficient distributed algorithms for parallel i/o scheduling. In: *ICPADS '05: Proceedings of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS'05)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005. p. 460–466. ISBN 0-7695-2281-5-01.

YU, H. et al. High performance file i/o for the blue gene/l supercomputer. *The Twelfth International Symposium on High-Performance Computer Architecture*, IEEE, p. 187–196, 2006.