

Ontologias Aplicadas à Descrição de Recursos em Ambientes *Grid*

ANA M. PERNAS

M. A. R DANTAS

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

INE – Departamento de Informática e Estatística

CEP 88040-900 Florianópolis (SC)

{marilza, mario}@inf.ufsc.br

Resumo. Ambientes de computação em *grid* podem realizar o compartilhamento em larga escala de seus recursos e serviços, sendo atualmente considerados como uma solução eficiente, pesquisada por diversas organizações, para obtenção de alto desempenho e disponibilidade na execução de aplicações. As organizações podem se constituir de universidades, empresas, centros de pesquisa ou, até mesmo, pessoas individuais, as quais necessitam de acesso a recursos geograficamente distribuídos para realização de tarefas. Entretanto, devido à diversidade de recursos e serviços oferecidos pelos *grids*, em adição a uma falta de uma padronização para tarefas de busca e seleção de recursos disponíveis, sua utilização pelas organizações se torna complexa, exigindo conhecimento prévio do ambiente e dos requisitos necessários para acesso. Com o objetivo de facilitar a busca e seleção de recursos, este artigo apresenta como alternativa a utilização da abordagem de ontologias aplicadas. Este paradigma pode prover a descrição dos recursos disponíveis no *grid*, auxiliando em sua forma de atuação e descrevendo-os sintática e semanticamente na forma de um vocabulário comum ao domínio. Em experimentos realizados, a abordagem proposta neste artigo se mostrou eficiente. A pesquisa feita com relação à forma de representação do conhecimento nestes ambientes e o desenvolvimento da ontologia permitiram concluir-se que a junção destas duas áreas traz benefícios às organizações, pois permite melhor compreensão do ambiente, tanto para o fornecimento quanto para o acesso aos recursos.

Palavras-Chave. Computação em *Grid*, Ontologia, Computação Paralela e Distribuída, Padronização, Representação do Conhecimento.

1 Introdução

Grids computacionais consistem de ambientes geograficamente distribuídos voltados ao fornecimento em larga escala de recursos, com o objetivo de fornecer alto desempenho na execução de aplicações [Foster et al. (2001)]. Desta forma, uma infra-estrutura de *grid* é geralmente vista como um conjunto de serviços, providos por instituições ou indivíduos particulares, para utilização por outros usuários. Como consequência desta visão, muitos autores, dentre eles [De Roure et al. (2003)] e [Foster et al. (2001)], interpretam sua arquitetura como sendo *orientada a serviços*.

Na arquitetura orientada a serviços do *grid*, duas entidades possuem destaque: o fornecedor (dono), o qual estabelece as regras a serem satisfeitas pelos consumidores no acesso ao ambiente; e o consumidor

dos serviços/recursos disponibilizados. Também é possível perceber como ponto central do ambiente o fornecimento e a utilização de serviços e recursos, sendo este seu principal objetivo e o motivo pelo qual é tão buscado pelas organizações [Pernas (2004)].

A partir de uma visão orientada a serviços, este artigo tem o objetivo de apresentar como proposta a utilização de ontologias na descrição dos recursos computacionais disponíveis em ambientes de *grid*, buscando automatizar e padronizar a tarefa de busca e seleção de recursos. Desta forma, a ontologia atua fornecendo informações sempre que forem recebidas requisições para acesso, uma vez que as consultas, tanto dos usuários como dos programas de aplicação, atuam diretamente na ontologia, facilitando a busca pelos recursos. Além disso, a ontologia apresenta, agregados a ela, os axiomas utilizados para descrever as restrições

que devem ser satisfeitas para a utilização de determinado recurso.

Para criação da ontologia, primeiramente foi feita uma investigação do conhecimento apresentado pelo domínio a que ela se destina. Em seguida, este conhecimento foi transformado em um vocabulário para, ao final, constituir as semânticas e os conceitos usados para definição dos recursos fornecidos pelo ambiente de *grid* adotado. Na seqüência, foram criados os axiomas, que guardam todas as regras a serem respeitadas durante a inclusão de novo vocabulário na ontologia. Na etapa final, foi desenvolvida uma aplicação, a qual foi representada em um serviço de *grid*, visando possibilitar a apresentação da ontologia aos consumidores e tornar o novo ambiente mais simples e claro.

O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados os fundamentos de *grids* orientadas a serviços; os conceitos de ontologias são introduzidos na seção 3; na seção 4 é descrito o trabalho realizado nesse artigo, juntamente com a ontologia proposta, a linguagem de modelagem e ferramenta usadas e o serviço desenvolvido; alguns trabalhos correlatos são apresentados na seção 5; o artigo é finalizado na seção 6, com as conclusões obtidas ao final deste trabalho.

2 Arquitetura do *Grid* Orientada a Serviços

Em Foster et al. (2001) argumenta-se que o conceito de *grid* é de fato motivado por um problema real e específico. Segundo os autores, este problema consiste do compartilhamento coordenado de recursos e resolução de problemas em *organizações virtuais* (OV). Estas OVs consistem de coleções dinâmicas de indivíduos ou instituições realizando fornecimento e consumo de recursos e serviços do *grid* de acordo com suas regras de compartilhamento [Foster et al. (2001)].

Desta forma, grande parte das ações realizadas no ambiente de *grid* é relacionada ao compartilhamento de recursos, os quais podem ser simples acessos a arquivos ou, até mesmo, acesso a computadores ou softwares. E, para que este acesso seja feito de forma correta, é necessário grande controle por parte tanto dos fornecedores quanto dos consumidores, com ambos definindo quais recursos devem ser compartilhados, a quem é permitido o compartilhamento e as regras sobre as quais ele pode ocorrer [Foster et al. (2001)].

Nesta arquitetura *orientada a serviços* é importante que o fornecedor defina quais condições devem ser satisfeitas para possibilitar a obtenção do acesso. Em seguida, é necessária a realização de um contrato de serviço entre o fornecedor e o consumidor, onde irão constar as condições sobre as quais o fornecedor aceita

prover o serviço ao consumidor [De Roure et al. (2003)]. O contrato não é necessariamente definido somente pelo fornecedor, pois ocorrem casos em que o consumidor também especifica condições para utilização, como é o caso do *Gang-Matching* [Raman et al. (2000)], onde são analisadas as políticas de utilização vindas também do consumidor para habilitar o acesso.

Para que estas tarefas sejam realizadas, é necessário que a arquitetura do *grid* esteja voltada a atender as operações realizadas pelas OVs. Portanto, identifica-se como questão central o suporte a interoperabilidade nas aplicações de OVs, onde interoperabilidade significa a utilização de protocolos comuns para negociação de recursos, estabelecendo relações de compartilhamento. Além disso, os protocolos possuem fundamental participação para obtenção de interoperabilidade, pois a sua definição específica como os elementos do sistema distribuído irão interagir uns com os outros, de forma a apresentarem um comportamento esperado, especificando também a estrutura da informação trocada durante a interação [Foster et al. (2001)].

3 Ontologias

A busca pelo uso de ontologias em Ciência da Computação já vem sendo feita há vários anos, tendo sido inicialmente realizada pela Inteligência Artificial, visando criar representações que fossem além da descrição de simples instâncias do domínio considerado [Gava & Menezes (2003)]. Atualmente, diversas áreas usam ontologias, buscando desenvolver um vocabulário contendo os conceitos relativos ao domínio de aplicação.

Com relação ao seu conceito, a área de Ciência da Computação define, em geral, ontologia como uma especificação *formal* e explícita de uma *conceituação compartilhada* [Gruber (1993)], [Fensel (2000)], [Gava & Menezes (2003)], onde, segundo [Studer et al. (1998)], *conceituação* se refere ao modelo abstrato de algum fenômeno do mundo o qual identifica conceitos relevantes do próprio fenômeno; *formal* se refere ao fato da ontologia ser interpretável por máquina; e *compartilhada* reflete a noção de que uma ontologia captura o conhecimento apresentado não somente por um único indivíduo, mas por um grupo.

A definição de uma ontologia prevê a existência de elementos epistemológicos, os quais são definidos para identificar cada categoria de elementos da ontologia. Estes elementos e seus significados podem variar com relação à terminologia adotada pela área que os utiliza. Entretanto, [Gruber (1993)] identifica quatro componentes independentes de uma comunidade específica, estes são:

- **Classes:** usadas com ampla abrangência, podendo expressar qualquer coisa sobre a qual alguma coisa é dita, como uma tarefa, função, ação, estratégia, processo de raciocínio, entre outros.
- **Relações:** representam um tipo de interação entre as classes e o domínio. Como exemplo, pode-se considerar: “subclasse-de” ou “conectado-a”.
- **Funções:** consistem de um caso especial de relações, onde o n-ésimo elemento do relacionamento é único para os n-1 elementos precedentes.
- **Axiomas:** usadas para modelagem de sentenças que são sempre verdadeiras.

A utilização de ontologias para descrição semântica de um vocabulário proporciona um entendimento amplo das características e propriedades de suas classes e dos relacionamentos entre elas. Além disso, pode-se acrescentar o fato de serem extensíveis, pois novas classes, regras ou vocabulários podem ser adicionados para descrição de um novo domínio de aplicação. Ontologias podem ser compartilhadas para uso, em conjunto, com outras ontologias ou ferramentas, possibilitando também a interoperabilidade.

4 Ontologia para Descrição de Recursos do Grid

A ontologia desenvolvida consiste da representação do conhecimento apresentado pelo domínio: a comunidade que utiliza recursos computacionais pertencentes à *grids*. Este conhecimento é representado na forma de um vocabulário, o qual utiliza axiomas para o seu funcionamento. Além destes axiomas, outras duas estruturas auxiliam na descrição dos recursos, que são:

- **Metadados:** consistem de informações a respeito dos dados. No trabalho, os metadados guardam informações sobre os recursos computacionais, entre elas: data em que foi posto em funcionamento; por quanto tempo estima-se que esteja disponível; endereçamento do recurso; capacidade em espaço de armazenamento; memória disponível; sistema operacional em execução; tipo de arquitetura.
- **Visões Semânticas:** guardam informações sobre o estado atual do recurso computacional. Sempre que uma visão semântica é consultada, devolve informações sobre o seu funcionamento neste instante, isto é, se está disponível para uso, em manutenção, em sobrecarga, entre outros estados.

Tanto os metadados como as visões semânticas são usadas como uma referência adicional à ontologia. Portanto, sempre que um novo recurso for adicionado ou retirado do *grid*, seus dados devem ser inseridos ou retirados dos metadados. As visões semânticas, por serem geradas a cada momento pelo sistema, refletem a situação instantânea do recurso computacional.

A ontologia foi desenvolvida a partir da linguagem OWL (*Web Ontology Language*), recomendada como um padrão de linguagem pela W3C (*World Wide Web Consortium*) [W3C (2004)]. Optou-se pelo uso desta linguagem por apresentar todos os benefícios de outras linguagens para ontologia, como: DAML-OIL (*DARPA Agent Markup Language - Ontology Inference Layer*), RDF (*Resource Description Framework*), e outras mais, devido a consistir de uma revisão, incorporando melhoramentos necessários, da linguagem DAML-OIL. Um dos melhoramentos é a criação de um vocabulário mais extenso para descrição de propriedades e classes, permitindo descrição de: relacionamentos entre classes, cardinalidade, igualdade, características de propriedades, entre outras [McGuinness e Van Harmelen, 2004].

A OWL é dividida em três sub-linguagens, distintas pelo nível de formalidade exigido e oferecido e liberdade dada ao usuário para a definição de ontologias: OWL *Lite*, OWL *DL* e OWL *Full*. No caso da ontologia criada, optou-se pela utilização da OWL *Full* por esta oferecer um bom nível de formalidade e liberdade, uma vez que foi necessária certa liberdade para definição das políticas de uso dos recursos, traduzidas na forma de axiomas.

Para a edição da ontologia, foi usado o editor Protégé-2000 [Noy et al. (2000)], onde são descritos os conceitos pertencentes à ontologia, juntamente com seus atributos e relacionamentos. Optou-se pela utilização deste editor, primeiramente, por ser um *software* livre e disponível em diversas plataformas, como: *Windows*; *LINUX*; *Mac OS*; *Solaris*; *HP UX (Hewlett-Packard UNIX)*. Em segundo lugar, por ser um dos editores com maior quantidade de *plug-ins* disponíveis, tendo sempre novas funcionalidades.

4.1 Arquitetura do Grid a partir de Ontologias

A ontologia proposta neste artigo deve atuar diretamente no serviço de diretórios do *grid*, onde as consultas a respeito dos recursos são feitas sobre o vocabulário definido pela ontologia. Desta forma, são eliminadas possíveis interpretações ambíguas na busca e na leitura de informações a respeito do ambiente, pois todos os conceitos usados pelas aplicações, tanto dos clientes como dos fornecedores, possuem apenas um significado.

Observando-se a Figura 1, modificada de [Goble & De Roure (2002)], podemos perceber que a ontologia se localiza em uma camada quase que à parte do *grid*, pois as requisições vindas dos consumidores devem primeiramente fazer uma consulta à ontologia, que por sua vez utiliza os metadados e as visões semânticas para obter maior informação a respeito dos recursos. Somente no momento em que o consumidor obtiver a resposta relativa à sua requisição é que o recurso é ou não fornecido para utilização.

Como mostra a Figura 1, os metadados recebem informações vindas diretamente dos recursos, arquivos de dados, entre outros. As visões semânticas se comunicam com o serviço MDS (*Metacomputing Directory Service*), o qual é responsável pelo acesso distribuído a estrutura e estado de informações a respeito dos componentes de sistema [Foster & Kesselmann (1999)].

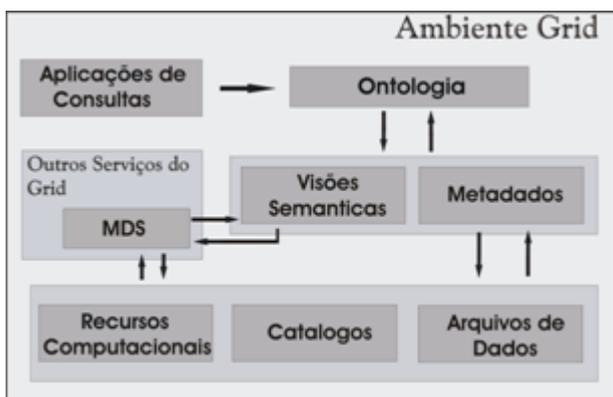


Figura 1: Arquitetura proposta para o *grid*

4.2 Metodologia

Antes de se iniciar a construção de uma ontologia, é importante fazer uma boa investigação a respeito da metodologia a ser utilizada, pois para se garantir que a ontologia criada poderá ser reutilizada posteriormente em outros sistemas, deve-se adotar o uso de uma metodologia que garanta sua portabilidade. Desta forma, sua definição foi feita de acordo com a metodologia indicada por [Gruber (1993)], onde é descrito um mecanismo para definição de ontologias portáteis entre diferentes sistemas de representação, sendo estas mais facilmente adaptadas aos problemas encontrados em vários outros sistemas, o que permite sua reutilização.

4.3 Desenvolvimento da Ontologia

Visando exclusivamente à descrição de recursos computacionais providos em ambientes de *grid*, primeiramente foi feita uma pesquisa a respeito dos conceitos que deveriam ser obtidos para descrição geral de recursos computacionais, isto é, o vocabulário

utilizado pela comunidade e quais recursos são geralmente disponibilizados em ambientes de *grid*. Para isso, foram pesquisados diversos ambientes de *grid* computacionais existentes e em pleno funcionamento, entre eles destacam-se: NPACI [NPACI (2000)]; ESG (*Earth System Grid*) [Foster et al. (2003)]; NASA's *Information Power Grid* (IPG) [IPG (2002)] e *The Distributed ASCI Supercomputer Project 2* (DAS - 2) [Verstoep (2002)].

Em seguida, foi feita toda documentação necessária à ontologia, a qual consiste dos seguintes componentes:

- *Dicionários de Dados* - agrega todas as classes e instâncias de classe da ontologia, juntamente com suas significações;
- *Árvore de Classificação de Conceitos* - apresentada na Figura 2, agrupa todas as classes e subclasses da ontologia;

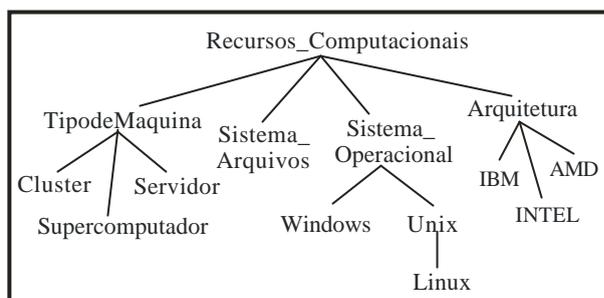


Figura 2: Árvore de Classificação de Conceitos

- *Tabelas de Atributos de Classes e de Instâncias*: apresentam, respectivamente, para cada instância e para cada classe da ontologia, todos os seus atributos. Um exemplo é mostrado na Tabela 1, referente aos atributos da instância IBM Power4;

Tabela 1: Exemplo de Tabela de Atributos de Instâncias

nome	IBM Power4
dataFunc	10/03/2004
tempoEstim	12 meses
hostname	labweb.inf.test
endIP	168.116.97.200
arquitetura	IBMPower4
tipoSO	AIX
tipoSistArquivos	EXT3
numTotProcess	224
numCPUsDispon	36
totMemoGB	512
totEspDiscoGB	7134
sinonimo	Máquina servidora IBM Power4

- *Tabelas de Instâncias*: apresentam a descrição, atributos e valores de cada instância da ontologia;
- *Árvores de Classificação de Atributos*: mostram os atributos inferidos através da existência de outros atributos de hierarquia superior. Na Figura 3 é apresentada uma das árvores criadas, referente aos atributos *tipoSO* e *arquitetura*, das classes Sistema Operacional e Arquitetura.

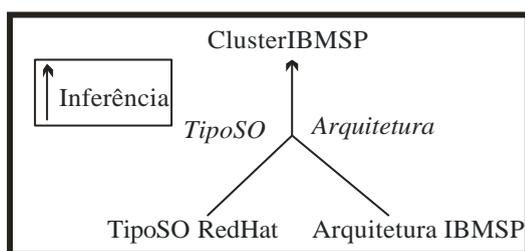


Figura 3: Árvore de Classificação de Atributos: domínio *Cluster*

Em seguida, foi realizada a reprodução desta documentação para a linguagem OWL, possível por meio do editor Protégé-2000. No editor também foram criados os axiomas da ontologia, utilizando-se a linguagem PAL (*Protégé Axiom-Language*), a qual é fornecida por ele próprio, através da inserção de um *plug-in* específico para a linguagem PAL. Os metadados também foram definidos a partir do editor Protégé-2000 e da linguagem OWL, os quais foram definidos conceituando cada uma das estruturas da ontologia, sejam elas classes, instâncias ou atributos.

4.4 Aplicação e Serviço Desenvolvidos

Para possibilitar a interação do consumidor com a ontologia, foi desenvolvida uma **aplicação**, para servir como *interface* no acesso à ontologia, e um **serviço** para *grids* computacionais, o qual permite aos consumidores acessarem a aplicação e, conseqüentemente, o ambiente.

A aplicação foi construída em linguagem Java, e manipula diretamente todos os conceitos existentes na ontologia por meio de APIs (*Application Programming Interface*), próprias do Protégé-2000, as quais permitem a criação de rotinas simples para interagir com todo tipo de dado contido em ontologias do Protégé-2000.

A aplicação é constituída de três módulos, os quais permitem visualização de todos os conceitos do ambiente, representados através da ontologia; pesquisa de metadados; busca por qualquer recurso computacional existente, onde é possível conhecer toda a sua configuração, auxiliando na escolha para utilização. O 1º módulo, responsável pela visualização dos conceitos, está apresentado na Figura 4.

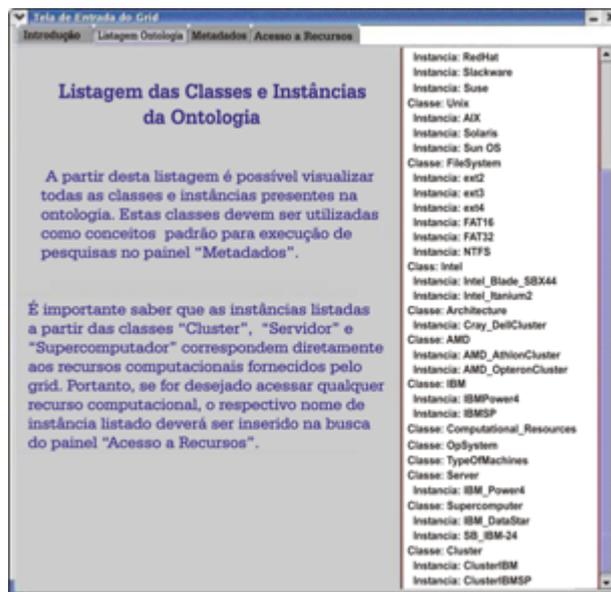


Figura 4: Tela da aplicação referente à listagem dos conceitos da ontologia desenvolvida.

Em seguida, para se visualizar a possibilidade de incluir a ontologia criada em um ambiente real de *grid*, foi desenvolvido um serviço para *grids*, referente à aplicação descrita, utilizando-se a ferramenta *Globus* [Foster & Kesselmann (1998)], a qual objetiva padronizar e tornar mais simples o desenvolvimento de ambientes *grid*. Este serviço consiste da aplicação descrita acima, mas operando já dentro de um ambiente de *grid* e devidamente configurada para aceitar conexões vindas de diversos consumidores do *grid*, simulando uma situação real de fornecimento do serviço.

A partir deste serviço, é possível aos consumidores acessarem o ambiente *grid* por meio de uma *interface*, onde todos os recursos computacionais são apresentados de forma descritiva e clara, facilitando a busca e o acesso ao que é realmente necessário para execução de certa tarefa.

5 Trabalhos Correlatos

5.1 Ontologias em *Grids* Computacionais

Com relação à aplicação de ontologias em *grids*, diversos trabalhos estão sendo realizados. Dois destes trabalhos serão resumidamente apresentados a seguir:

Semantic Grid: consiste de uma nova infra-estrutura de *grid*, proposta para suportar as atividades necessárias à comunidade pertencente a e-Science [De Roure et al. (2003)]. Ela é vista como um sistema aberto, onde cientistas e pesquisadores podem acessar os recursos do *grid* para processar experimentos, verificar resultados e armazenar suas pesquisas para serem acessadas por toda

comunidade. Na *Semantic Grid*, ontologias são aplicadas na determinação da extensão dos termos do conhecimento e nos relacionamentos entre eles. [De Roure et al. (2003)].

Earth System Grid (ESG): neste projeto, [Pouchard et al. (2003)] apresenta uma ontologia desenvolvida para o domínio científico em geral, com o objetivo de prover uma base para classificação e busca de dados, economizando tempo, recursos computacionais e trazendo maior transparência aos usuários. Para criação da ontologia, foi utilizada a linguagem DAML-OIL.

6 Conclusões

Neste artigo foi abordado um problema específico dentro da área de *grids* computacionais: a dificuldade na busca e acesso de recursos computacionais por parte de consumidores não familiarizados com as configurações dos *grid* computacionais. Nesta abordagem, adotou-se como proposta de solução a utilização do paradigma de ontologias. Foram mostradas justificativas para esta proposta, assim como os passos realizados para o seu desenvolvimento e definição de sua arquitetura.

Pela crescente utilização de ontologias nestes ambientes e pelo desenvolvido na proposta, pode-se constatar que a aplicação de ontologias em ambientes de *grid* se constitui como uma boa solução para seus problemas de interoperabilidade entre diferentes ambientes. Além disso, reduzem a possibilidade de problemas devido a ambigüidades na busca de dados, tornando transparente aos consumidores a utilização e o acesso aos recursos. Como esta proposta já está desenvolvida na forma de um serviço real para *grids*, também foi possível observar a viabilidade do seu emprego efetivo em demais ambientes *grid*, permitindo busca e acesso a todos os recursos disponíveis no ambiente de forma descritiva e clara para o consumidor.

Referências

[De Roure et al. (2003)] De Roure, D.; Jennings, N.R. & Shadbolt, N.R. *The Semantic Grid: A Future e-Science Infrastructure*. 2003.

[Foster et al. (2003)] Foster, I.; Middleton, D.; Williams, D. *The Earth System Grid II: Turning Climate Model Datasets into Community Resources*. January, 2003.

[Foster et al. (2001)] Foster, I.; Kesselmann, C. & Tuecke, S. *The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations*. *International J. of Supercomputer Applications*, 2001.

[Foster & Kesselmann (1999)] Foster, I. & Kesselman, C. (eds). *The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure*. São Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1999. 677p. ISBN 1-55860-475-8.

[Foster & Kesselmann (1998)] Foster, I. & Kesselman, C. *The Globus Project: a Status Report*. In *Proc. of Seventh Heterogeneous Computing Workshop (HCW 98)*, IEEE Computer Society Press, 4-18, March, 1998.

[Fensel (2000)] Fensel, D. *Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce*, Springer – Verlag, Berlin, 2000.

[Gava & Menezes (2003)] Gava, T. & Menezes, C. *Especificação de Software Baseada em Ontologias*. In *III Escola Regional de Informática*, 167-205, 2003.

[Goble & De Roure (2002)] Goble, C. & De Roure, D. *Semantic Web and Grid Computing*. September, 2002. Disponível por www em: <http://www.semanticgrid.org/documents>

[Gruber (1993)] Gruber, T. *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*. In *Knowledge Acquisition*, 199-220, 1993.

[IPG (2002)] IPG, Information Power Grid - Nasa's Computing and Data Grid. *What is the IPG?* October, 2002. Disponível por www em: <http://www.ipg.nasa.gov/aboutipg/what.html>

[McGuinness & Van Harmelen (2004)] McGuinness, D. & Van Harmelen, F. *OWL - Web Ontology Language Overview*. 2004. Disponível por www em: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210>

[Noy et al. (2000)] Noy, N.; Fergerson, R. & Musen, M. *The knowledge model of Protege-2000: Combining interoperability and flexibility*. *12th Int. Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management-Europe Knowledge Acquisition Workshop (EKAW)*, French Riviera, 2000.

[NPACI (2000)] NPACI - National Partnership for Advanced Computational Infrastructure. *Partnership Report*. 2000. Disponível por www em: http://www.npaci.edu/About_NPACI/index.html

[Pernas (2004)] Pernas, A. M. *Ontologias Aplicadas à Descrição de Recursos em Grids Computacionais*. Dissertação (Mestrado)-Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 109p, 2004.

[Pouchard, et al. (2003)] Pouchard, L. et al. *An Ontology for Scientific Information in a Grid Environment: the Earth System Grid*. In *Proc. of the 3th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGRID'03)*, Japan, Tokyo, May, 2003.

[Raman et al. (2000)] Raman, R.; Linvy, M. & Solomon, M. *Resource management through multilateral matchmaking*. In *Proc. of the Ninth IEEE Symposium on High-Performance Distributed Computing (HPDC9)*. Pittsburgh, 290-291, 2000.

[Studer et al. (1998)] Studer, R.; Benjamins, R. & Fensel, D. *Knowledge Engineering: Principles and Methods*. *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering*, 1998.

[W3C (2004)] W3C - *World Wide Web Consortium*. 2004. Disponível por www em: <http://www.w3.org>.

[Verstoep (2002)] Verstoep, K. *The Distributed ASCII Supercomputer 2 (DAS-2)*. May. 2000.