

# *Intercloud: A Nuvem das Nuvens (Junho 2011)*

Cauê Roberto Paiva Moresi  
 Universidade Federal de São Carlos, *Campus Sorocaba*  
 Sorocaba, São Paulo, Brasil  
*E-mail: caue.moresi@gmail.com*

**Resumo** – A computação em nuvem é um modelo relativamente novo para *Data Centers* grandes e altamente distribuídos. Esse paradigma que, com seu modelo *pay-per-use*, fornece alta escalabilidade e disponibilidade mudou completamente o panorama de serviços e sistemas. Recentemente, o modelo de computação em nuvem foi expandido, incluindo capacidades de computação (máquinas virtuais, por exemplo) e sistemas operacionais.

Entretanto, até agora, a proliferação da computação em nuvem não tem correspondido às expectativas no segmento corporativo. Além disso, as nuvens ainda não conseguem interoperar entre si.

Neste artigo, mostramos a *Intercloud* como uma camada que engloba todas as nuvens, com o objetivo de construir uma computação em nuvem confiável. Também discutimos duas proposições de funcionamento da *Intercloud*, uma proposta por Bernstein e Vij e outra proposta pela IBM.

**Palavras chave** – computação em nuvem (*cloud computing*), *intercloud*.

## I. INTRODUÇÃO

A computação em nuvem está se tornando uma das palavras-chaves da indústria de TI. Segundo Taurion [16] o termo *cloud computing* surgiu em 2006 em uma palestra de Eric Schmidt, CEO da *Google*, sobre como sua empresa gerenciava seus data centers. Hoje, a computação em nuvem, se apresenta como o cerne de um movimento de profundas transformações do mundo da tecnologia.

A nuvem é uma representação para a Internet ou infraestrutura de comunicação entre os componentes arquiteturais, baseada em uma abstração que oculta à complexidade de infraestrutura. Cada parte desta infraestrutura é provida como um serviço e, estes serviços são normalmente alocados em data-centers, utilizando hardware compartilhado para computação e armazenamento [11].

Esses serviços são conhecidos como *Infrastructure as a Service (IaaS)*, *Platform as a Service (PaaS)*, e *Software as a*

*Service (SaaS)*. Abaixo definimos sucintamente estes serviços, segundo [15]:

*IaaS - Infrastructure as a Service* ou, em português, Infraestrutura como Serviço: É a capacidade que o provedor tem de oferecer uma infraestrutura de processamento e armazenamento de forma transparente. Exemplos de IaaS incluem a Amazon EC2, o GoGrid e o Eucalyptus (open source).

*PaaS - Platform as a Service* ou, em português, Plataforma como Serviço: capacidade oferecida pelo provedor para o usuário desenvolver aplicações que serão executadas e disponibilizadas em nuvem. *Google AppEngine* e o *Microsoft Azure* são exemplos de *PaaS*.

*SaaS - Software as a Service* ou, em português, *Software* como Serviço: Aplicações hospedadas na nuvem. O *Google Apps* e o *SalesForce* são exemplos de *SaaS*.

Juntamente com esses serviços citados acima, a computação em nuvem oferece alta escalabilidade e disponibilidade, tornando-a altamente atraente para terceirização de dados e cálculo, tanto para os consumidores que desejam compartilhar suas fotos com amigos e para empresas que pretendem reduzir seus orçamentos de TI.

No entanto, obviamente, há preocupações de segurança relacionadas com a terceirização dos dados e cálculo na computação em nuvem. Mesmo que o fornecedor de *cloud* seja confiável, a questão de multilocação (compartilhamento de recursos) pode ser considerada uma questão de vulnerabilidade. Mais especificamente, os problemas citados incluem as dimensões da sigla CIRC:

- *Confidentiality* (Confidencialidade);
- *Integrity* (Integridade);
- *Reliability* (Confiabilidade);
- *Consistency* (Consistência);

Para que os sistemas em nuvem sejam aplicados a áreas mais amplas, tais como o núcleo de grandes empresas, será necessária a garantia de *QoS (Quality of Service)* fim-a-fim, abrangendo não somente os recursos de computação de nuvem, mas também as redes envolvidas, e atender aos requisitos de confiabilidade.

Quando os serviços são prestados por uma nuvem única (*cloud* única), um nível inesperado de sobrecarga (o tráfego da Internet), ou uma catástrofe natural pode exigir mais recursos computacionais. No entanto, neste cenário de uma única nuvem, os recursos reservados são geralmente limitados e a capacidade de uma única nuvem continuar com os serviços também é limitada. A fim de melhorar o sistema de computação em nuvem para poder continuar a satisfazer as exigências de *QoS*, é necessária a organização dessas nuvens de forma que uma nuvem possa interagir com outra nuvem e desta obter os recursos necessários.

A *Intercloud*, também denominada como nuvem das nuvens, é uma solução promissora na melhoria das dimensões *CIRC* e *QoS* (comparada ao modelo de computação em nuvem única) e, principalmente, interoperação entre nuvens. É claro que a partir de uma nuvem, instruções podem ser emitidas através da Internet para outra nuvem. Por exemplo, o código em execução no *Google AppEngine* também pode usar o código que esteja armazenado no *AWS (Amazon Web Services)*. Contudo, não há formas implícitas que as nuvens de recursos e serviços possam interoperar.

Este artigo tem como objetivo a explicação do funcionamento da *Intercloud* e o levantamento dos principais aspectos negativos do modelo de computação em nuvem atual, modelo de único domínio. Na seção seguinte, explicaremos o funcionamento da computação de domínio único e suas limitações são levantadas.

Na seção III os principais objetivos e planos da *Intercloud* são mostrados e discutidos. Em duas subseções desta seção mostraremos duas proposições de funcionamento da *Intercloud*, uma proposta por Bernstein e Vij, e outra proposta pela IBM.

## II. COMPUTAÇÃO EM NUVEM DE UMA ÚNICA CAMADA

A computação em nuvem de uma única camada consiste de protocolos distribuídos projetados para executar em um único domínio administrativo, normalmente sob o controle do prestador de serviços (por exemplo: *Amazon AWS* e *Google Apps*) [1]. A Figura 1 ilustra o modelo de *cloud computing* de domínio único. Os protocolos utilizados neste contexto são destinados para sistemas de área ampla, com escalabilidade para um número muito grande de clientes e como sua principal meta, alta disponibilidade.

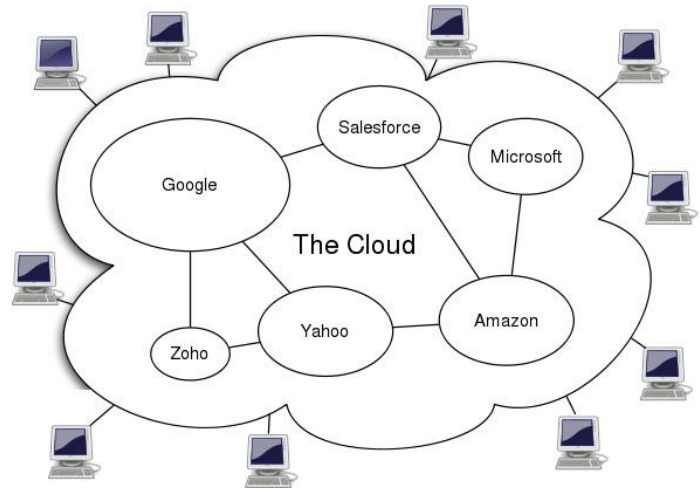
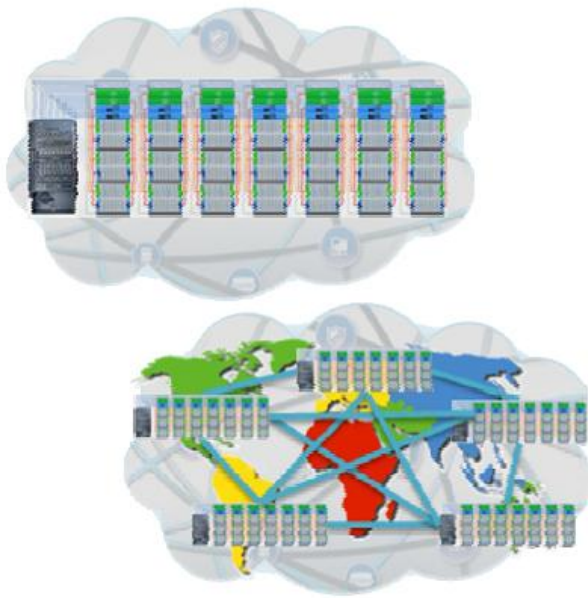


Figura 1- Modelo de *Cloud Computing* de Única Camada

A confiabilidade e a segurança de uma nuvem de domínio único, em especial sua confidencialidade, integridade e isolamento de dados e cálculos estão recebendo maior atenção [1]. No entanto, a concepção de um serviço confiável, baseando-se na oferta de um fornecedor de *cloud X* tem suas limitações muito visíveis, já que toda a confiança no sistema se reduz a confiar em X.

Outras limitações na confiança em um fornecedor de serviços na *cloud* estão relacionadas à confiabilidade e consistência. Enquanto as nuvens são projetadas para serem altamente disponíveis, interrupções podem acontecer e acontecem em qualquer provedor de domínio único. Além disso, a rede de um provedor de *cloud* é o ponto único de falha, principalmente no caso de provedores de *cloud computing* que não distribuem geograficamente seus serviços, isto é, seus *data centers* estão centralizados em um único local. A figura 2 ilustra este cenário e o cenário de *data centers* distribuídos.

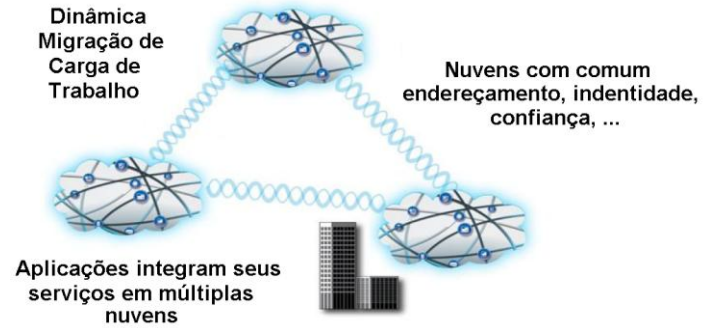


**Figura 2 – Data Centers podem estar centralizados ou distribuídos em diferentes continentes**

Assim, as conexões de rede são particularmente vulneráveis quando o cliente se encontra fora da América do Norte e Europa, onde as conexões de banda larga não são muito estáveis. Com isso, a consistência eventual oferecida por muitos provedores de *cloud computing*, pode não ser suficiente para algumas aplicações, como por exemplo, sistemas operacionais. Soluções de *cloud computing* de uma única camada fazer cache de dados localmente no cliente, a fim de evitar problemas de coerência. Mas isso complica o acesso simultâneo aos serviços e foge totalmente do propósito de terceirização de dados na nuvem.

### III. INTERCLOUD

Para entendermos melhor o que é a *Intercloud*, vamos fazer uma analogia desta com a *Internet*: Em um mundo *www*, os dados são ubíquos e interoperáveis em uma rede conhecida como *Internet*. Em um mundo de *Cloud Computing*, armazenamento e processamento de conteúdo são onipresentes e interoperáveis em uma rede de nuvens conhecida como *Intercloud*, a qual é ilustrada na Figura 3.



**Figura 3 - A visão da Intercloud**

A *Intercloud* oferece um ambiente único para a criação de serviços de confiança. Considere, por exemplo, tolerância a falhas como um dos aspectos-chave da confiabilidade. Uma suposição fundamental, em que praticamente todos os sistemas tolerantes a falhas contam, é a suposição de independência de falhas. Esta hipótese ocorre de formas diferentes, variando de hipóteses de falha clássica limite para modelos sem limiar de falha. No primeiro caso, a independência de falha reflete-se na suposição de que apenas um número máximo de processos falha, ou seja, até  $P$ , mas não  $P$  processos + 1 ou mais podem falhar, no segundo caso, a independência de falha é assumida em diferentes conjuntos de falhas propensos. No entanto, a cobertura desta suposição, na prática, às vezes é pequena.

Este continua sendo um ponto fraco de muitos sistemas, e os resultados na suposição sendo muitas vezes criticado. Neste aspecto, a *Intercloud* não tem precedentes: Esta vem com diversidade de localizações geográficas, fontes de alimentação, diferentes domínios administrativos e middleware e implementações diferentes de aplicação proprietária. Melhor de tudo, essa diversidade vem ao cliente, essencialmente, de graça, porque a manutenção de serviços diversificados não é da responsabilidade de um cliente, mas está nas mãos dos provedores de *cloud computing* separadamente.

Desde que os recursos providos pela *cloud computing* são uma mercadoria, seu custo é absorvido por muitos clientes para tarefas diferentes. Em contra partida, manter diversidade suficiente para uma tarefa, a qual incluiria hardware e uma diversidade de sistemas operacionais, manutenção de software e know-how de administração, é proibitivamente caro. Além disso, confiando o conjunto diversificado de nuvens através da distribuição de confiança entre domínios diferentes da nuvem é uma alternativa atraente para confiar (possivelmente crítica) dados para um único provedor de *cloud*.

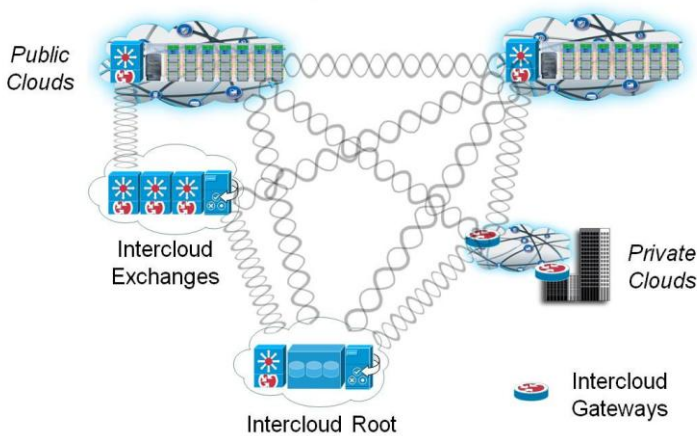
Claramente, a camada *Intercloud* não substitui a camada única de nuvem, mas expande seu alcance. Muito provavelmente, os protocolos confiáveis da *Intercloud* serão, primeiramente, centrados no cliente, onde *proxies* do lado do cliente orquestram várias nuvens. Posteriormente, isto será seguido por serviços mais sofisticados que envolvem a comunicação entre os diferentes serviços em nuvem (isso não é facilmente possível hoje devido à falta de padronização).

Também, muito provavelmente, os protocolos na *Intercloud* vão agregar valor considerável sobre a nuvem, maximizando várias métricas de *QoS* (*Quality of Service*), incluindo confiança em sentido amplo, e CIRC, em particular [1].

A seguir, resumidamente, veremos o modelo de funcionamento da *Intercloud* proposto por David Bernstein e Deepak Vij, que podem ser vistos mais detalhadamente em [12] e [13]. Posteriormente, veremos outro modelo, proposto pela IBM (*ICStore*) [1].

### A. Proposição de Funcionamento da *Intercloud* por Bernstein e Vij

Para melhor entendimento, antes de explicarmos o funcionamento da *Intercloud* proposto por Bernstein e Vij, vamos olhar a Figura 4:



**Figura 4 - Topologia da *Intercloud* proposta por Bernstein e Vij**

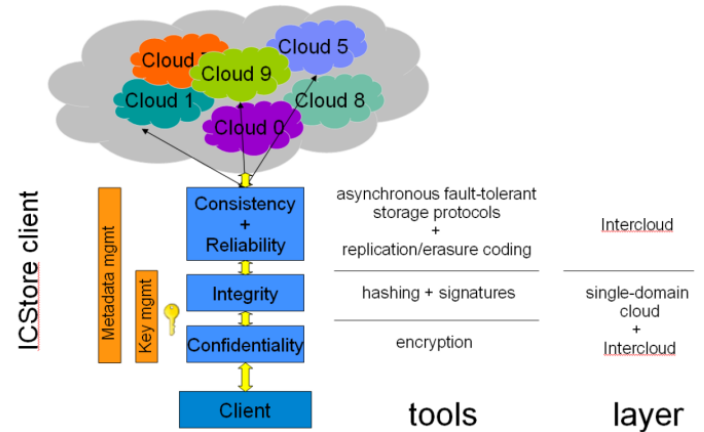
Vendo a figura acima, notamos dois personagens desconhecidos até o momento no cenário de *Cloud Computing*. São eles: *Intercloud Root* e *Intercloud Exchanges*.

O *Intercloud Root* atuará como mediador entre trocas na *Intercloud*, resolvendo o problema  $n^2$  (onde todas as nuvens tentariam comunicação umas com as outras), permitindo a conectividade entre diferentes nuvens. Provedores *Intercloud Exchange*, em conjunto as instâncias *Intercloud Root*, irão facilitar a negociação de diálogo e negociação entre as diferentes *clouds*.

Os *Gateways Intercloud* proporcionariam mecanismo para apoiar todos os protocolos e padrões da *Intercloud*. O *Intercloud Root* e o *Intercloud Exchange* facilitariam e mediarão o processo de negociação inicial entre as nuvens. Uma vez que o processo de negociação inicial for concluído, cada uma das nuvens em questão iria, diretamente, colaborar uma com a outra via um protocolo e transporte apropriados para interoperabilidade.

### B. Proposição de funcionamento da *Intercloud* pela IBM (*ICStore*)

Não diferente neste modelo, para melhor entendimento do modelo de funcionamento da *Intercloud* proposto pela IBM, devemos ver a Figura 5, que representa o *design* de alto nível da *ICStore*.



**Figura 5 - Design de alto nível da *ICStore***

No coração de seu *design*, há um cliente *ICStore* que orquestra múltiplos serviços de comodidade de armazenamento em nuvem na *Intercloud* (Exemplos: Amazon S3, Eucalyptus/Walrus, Nirvanix) [1] e prove um serviço de armazenamento transparente ao cliente final, o qual não precisa ter conhecimento sobre os detalhes da *ICStore*, assim como o número de diferentes *clouds* e suas APIs. O cliente *ICStore* oferece ao cliente final um valor chave armazenado com operações de leitura e escrita simples, o qual é um serviço comum oferecido pelos provedores de armazenamento em nuvem. A implementação inicial da IBM encara a interface *ICStore*/Cliente como um subconjunto da interface do Amazon S3 (incluindo, por exemplo, essa operação: *put(key, version, value)*; *get(key)*; *delete(key)*). Com este projeto, o cliente *ICStore* aparece para o cliente final como uma única nuvem virtual, que simplifica as operações de portabilidade de aplicações de armazenamento em nuvem existentes (por exemplo, as que foram construídas em cima do Amazon S3) para *ICStore*. Vários clientes finais podem acessar a *ICStore* através de seu próprio cliente *ICStore*.

Do outro lado, no back-end da *Intercloud*, o cliente *ICStore* se conecta para separar os fornecedores de *cloud computing*, protegendo o cliente final por suas diversificadas APIs. Novos fornecedores de *cloud computing* podem ser inseridos modularmente através da escrita individual de adaptadores da API individual do fornecedor para a API mais padronizada da *ICStore* que é conectada ao cliente final.

Finalmente, o cliente *ICStore* consiste de três camadas com metas diferentes:

1. Confidencialidade;
2. Integridade;
3. Confiabilidade e Consistência

Essa abordagem em camadas permite que camadas individuais possam ser “ligadas” e “desligadas” para prover diferentes níveis de confiança para que possa combinar com os objetivos do cliente, também com *desempenho* e a possibilidade de restrições financeiras. Note que a funcionalidade cliente *ICStore* não precisa ser implementada no lado do cliente, ou seja, o cliente *ICStore* pode residir remotamente, agindo como um serviço separado e como um *gateway* (portão) para a *Intercloud*. No entanto, no protótipo inicial da IBM, o cliente *ICStore* é implementado como uma biblioteca nos clientes finais.

A seguir veremos, resumidamente, como garantir que cada uma das três camadas funcione no modelo *ICStore*:

**Confidencialidade:** Nesta camada, o cliente realiza uma simples chave de criptografia simétrica dos dados recebidos do cliente. O desafio crucial nesta camada é a gestão de chaves. Para este fim, o projeto *ICStore* apóia o uso de nível corporativo de gestores de chave, assumindo que esses gestores de chaves sejam devidamente replicados para fornecimento de um nível desejado de tolerância a falhas.

**Integridade:** A camada de integridade fornece proteção criptográfica contra modificação não autorizada de dados. Quando apenas um único cliente acessa o armazenamento em nuvem não confiável, a integridade dos dados pode ser realizada basicamente com árvores de hash. Para permitir que vários leitores e escritores acessem os dados armazenados, a camada de integridade depende de uma infraestrutura de chave pública nos clientes.

**Confiabilidade e Consistência:** A camada de confiabilidade e consistência consiste de protocolos distribuídos tolerantes a falhas de dados que dispersam os dados a *Intercloud* após os dados (opcionalmente) passarem através das camadas de confidencialidade e integridade. A IBM pretende, nesta camada, apoiar uma variedade de protocolos de dados de dispersão, que devem ser selecionados em função dos objetivos da aplicação final, respeitando o desempenho e restrições monetárias.

#### IV. CONCLUSÃO

Apesar se ser um termo novo, a *Cloud Computing* será provavelmente a nova arquitetura para *hardware* e *software*, pois além de serem, normalmente, serviços terceirizados, a *Cloud Computing* traz ao cliente final maior economia com infraestrutura. Entretanto, a *Cloud Computing* traz a preocupação com aspectos de segurança. Para melhoria desse aspecto, uma solução, denominada *Intercloud*, ainda em estudos, está sendo elaborada.

Por se tratar de um modelo que visa, além da interoperabilidade entre nuvens, melhoria de termos relacionados à segurança dos dados e, apesar de ser um termo ainda teórico, a *Intercloud* é, com certeza, um modelo que muito provavelmente será utilizado no futuro da *Cloud Computing*. Outro fator que comprova a relevância da *Intercloud*, é que a IBM, empresa privada de grande porte na área, está investindo fortemente no modelo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Cachin, R. Haas, M. Vukolić, “*Dependable Storage in the Intercloud*”, October 21, 2010, IBM Research. Available: [http://domino.research.ibm.com/library/cyberdig.nsf/papers/630549C46339936C852577C200291E78/\\$File/rz3783.pdf](http://domino.research.ibm.com/library/cyberdig.nsf/papers/630549C46339936C852577C200291E78/$File/rz3783.pdf)
- [2] Hussam Abu-Libdeh, Lonnie Princehouse and Hakim Weatherspoon, “*RACS: A Case for Cloud Storage Diversity*”, 2010. Available: <http://www.cs.cornell.edu/projects/racs/pubs/racs-socc2010.pdf>
- [3] David M. Smith, “*Life on the Internet*”, April 10, 2009. Available: [http://blogs.gartner.com/david\\_m\\_smith/2009/04/10/life-on-the-inter-cloud/](http://blogs.gartner.com/david_m_smith/2009/04/10/life-on-the-inter-cloud/)
- [4] “*Intercloud: How Will We Scale Across Multiple Clouds?*”, April 05, 2009. Available: <http://highscalability.com/blog/2010/4/5/intercloud-how-will-we-scale-across-multiple-clouds.html>
- [5] Peter Silva, “*The Inter-Cloud: Will MAE Become a MAC?*”, March 31, 2010. Available: <http://cloudcomputing.sys-con.com/node/1331133>
- [6] Lori MacVittie, “*Intercloud: The Evolution of Global Application Delivery*”, June 30, 2009. Available: <http://devcentral.f5.com/weblogs/macvittie/archive/2009/06/30/intercloud-the-evolution-of-global-application-delivery.aspx>
- [7] Greg Ness, “*The Intercloud makes Networks Sexy Again*”, June 19, 2009. Available: <http://www.infra20.com/post.cfm/the-intercloud-makes-networks-sexy-again>
- [8] *The Intercloud is a global cloud of clouds*. June 22, 2009. Available: <http://samj.net/2009/06/intercloud-is-global-cloud-of-clouds.html>
- [9] Greg Matter, “*The Intercloud*”, February, 2009. Available: [http://blogs.oracle.com/Gregp/entry/the\\_intercloud](http://blogs.oracle.com/Gregp/entry/the_intercloud)
- [10] *Use Cases and Functional Requirements for Inter-Cloud Computing*. Available: [http://www.gictf.jp/doc/GICTF\\_Whitepaper\\_20100809.pdf](http://www.gictf.jp/doc/GICTF_Whitepaper_20100809.pdf)
- [11] Flávio R. C. Sousa, Leonardo O. Moreira e Javam C. Machado, *Computação em Nuvem: Conceitos, Tecnologias, Aplicações e Desafios*. Available: [http://www.es.ufc.br/~flavio/files/Computacao\\_Nuvem.pdf](http://www.es.ufc.br/~flavio/files/Computacao_Nuvem.pdf)
- [12] David Bernstein and Deepak Vij, *Intercloud Security Considerations*, 2010.
- [13] David Bernstein, Erik Ludvigson, Krishna Sankar, Steve Diamond and Monique Morrow. *Blueprint for the Intercloud – Protocols and Formats for Cloud Computing Interoperability*.

2009. Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services
- [14] Antonio Celesti, Francesco Tusa, Massimo Villari and Antonio Puliafito. *Security and Cloud Computing: InterCloud Identity Management Infrastructure*. 2010. Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises
  - [15] C. Esteve, R. Pasquini, F. L. Verdi and M. F. Magalhães, Novas Arquiteturas de Data Center para Cloud Computing, Minicurso do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC'10)
  - [16] Taurion, Cezar, *Cloud Computing – Computação em Nuvem – Transformando o mundo da Tecnologia da Informação*, ISBN: 8574524239.