

SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM PARA O iSPD

SILVA, Diogo Tavares
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)
tavareko@gmail.com

MANACERO, Aleardo
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)
aleardo@sjrp.unesp.br

MENEZES, Denison
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)
denison.m3@gmail.com

JORGE, Arthur
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)
arthur.jor@gmail.com

LOBATO, Renata Spolon
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)
renata@ibilce.unesp.br

SPOLON, Roberta
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)
roberta@fc.unesp.br

Resumo: O uso de computação em nuvem tem se tornado cada vez mais intenso nos últimos anos. Devido principalmente a fatores econômicos, a avaliação de desempenho de sistemas de computação em nuvem, principalmente através de simulação, tem sido amplamente aplicada. Neste trabalho se apresenta a inclusão da funcionalidade de modelagem e simulação de computação em nuvem no simulador de ambientes distribuídos iSPD.

Palavras-chave: Computação em nuvem, avaliação de desempenho, simulação.

Abstract: *The use of cloud computing has been more pervasive in last years. For economic reasons, the performance analysis of cloud computing systems, performed by simulation, has been widely applied. This paper presents the inclusion of the functionalities of cloud computing modeling and simulation into the distributed systems simulator iSPD.*

Keywords: Cloud computing, performance analysis, simulation.

1. INTRODUÇÃO

O conjunto de tecnologias conhecido como computação em nuvem (cloud computing) tem sido cada vez mais utilizado. O principal conceito desta tecnologia é a provisão de recursos computacionais sob demanda, através da infraestrutura de internet, seguindo um modelo utilitário em que se paga pelo tempo e quantidade de recursos utilizados. A computação em nuvem tornou-se possível pelo amadurecimento

de diversas tecnologias, tais como processadores multinúcleo, virtualização de *hardware*, sistemas autônomos, tecnologias de internet e computação em grade (BUYAYA; BROBERG; GOSCINSKI; 2011). A junção dessas tecnologias para a formação de computação em nuvem foi motivada pelo fato de que grande parte dos *datacenters* dedicados são projetados para suportar picos teóricos de utilização, sendo subutilizados a maior parte do tempo. Isto incentivou fortemente a utilização de computação em

nuvem com o objetivo de otimizar a utilização de recursos e reduzir custos operacionais.

A avaliação de desempenho de sistemas de computação em nuvem é necessária devido a fatores econômicos. Para clientes é necessário avaliar desempenho com o objetivo de selecionar a melhor configuração de recursos necessários para a execução de sua aplicação. Já para os provedores de serviço é necessário avaliar o desempenho de políticas de escalonamento, alocação e provisionamento de máquinas virtuais (VMs) e recursos para reduzir seus custos.

Dado que o uso de *benchmarking* para avaliação de desempenho de computação em nuvem é impraticável, devido ao alto custo de se utilizar o sistema físico para esta finalidade, a simulação de sistemas surge como alternativa atraente para a avaliação desses sistemas. O uso de simulação implica em menores custos de implementação, além de maior facilidade de reconfiguração de parâmetros e reprodutibilidade de experimentos.

Devido às vantagens do uso de simulação e a existência de simuladores de grades computacionais, se torna interessante determinar como esses simuladores podem ser utilizados na simulação de computação em nuvem. Esta tarefa é descrita nesse trabalho, através da inclusão da capacidade de simulação de computação em nuvem na ferramenta de simulação chamada iSPD (*iconic Simulator of Parallel and Distributed systems*) (MANACERO et al. 2012).

No restante do texto se apresenta inicialmente os conceitos fundamentais para o entendimento das características de computação em nuvem e do simulador aqui empregado. A seguir se passa para a descrição dos parâmetros relevantes para a simulação em nuvem e como os mesmos podem ser descritos em modelos a serem simulados no iSPD. Segue-se com uma breve revisão sobre outros simuladores de computação em nuvem e as conclusões sobre os desenvolvimentos realizados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A simulação de computação em nuvem envolve aspectos distintos daqueles que são normalmente considerados na simulação de ambientes de rede. Para a compreensão dessas diferenças é necessário conhecer os conceitos essenciais de nuvem, o que é feito logo a seguir. Além disso, como a simulação será feita com o iSPD, é necessário que se conheça as características desse simulador, em especial aquelas relacionadas a aspectos de criação dos modelos a serem simulados, o que é feito ao final desta seção.

2.1 COMPUTAÇÃO EM NUVEM

Historicamente, usa-se o termo "nuvem" como uma metáfora para internet, o que se dá principalmente pela popularização da representação gráfica de uma rede complexa pelo desenho de uma nuvem (RITTINGHOUSE; RANSOME; 2009). Quanto ao termo "computação em nuvem", acredita-se que seu primeiro uso, segundo Sasikala (SASIKALA; 2011), seja proveniente de um livro sobre tecnologia da empresa IBM, publicado em 2007.

Mell e Grance (MELL; GRANCE; 2011) definem computação em nuvem como um modelo de negócio *pay-per-use* (pago por utilização) que permite o acesso sob demanda, através da rede, a um arranjo compartilhado de recursos computacionais configuráveis que podem ser rapidamente providos e liberados com o mínimo esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviço.

O conceito de vender poder computacional e o uso de aplicações em um modelo utilitário não é algo novo e tornou-se muito popular nos anos 70. No entanto, logo se percebeu que a tecnologia existente não era capaz de implementar esse modelo de computação (RITTINGHOUSE; RANSOME; 2009). Somente com o passar dos anos e o amadurecimento de uma série de tecnologias como processadores multi-núcleo, virtualização de *hardware*, grades computacionais, computação autônoma e tecnologias de internet, como *web services*, e SOA (*Service-Oriented Architectures*) é que esse modelo de computação tornou-se possível, sendo chamado de computa-

ção em nuvem (*cloud computing*, em inglês) (BUYYA; BROBERG; GOSCINSKI; 2011).

Quanto aos serviços oferecidos pelo modelo de computação em nuvem, os mesmos podem ser divididos em três classes de serviços, descritas a seguir:

- IaaS (Infrastructure-as-a-Service): consiste em prover toda a infraestrutura de hardware para que se possa instalar e manter operacional uma estrutura de software arbitrária.
- PaaS (Platform-as-a-Service): consiste em disponibilizar plataformas de desenvolvimento e hospedagem de aplicações, oferecendo um alto nível de abstração. Isto permite ao usuário programar sem se preocupar com detalhes inerentes à infraestrutura que irá executar a aplicação, o que torna a programação para a nuvem mais simples.
- SaaS (Software-as-a-Service): consiste em oferecer aplicações de uso rotineiro (ferramentas de escritório, webmail, conversores de mídia, etc.) através de uma interface web acessível através de navegadores ou aplicativos desenvolvidos para dispositivos móveis.

2.2 . ISPD (ICONIC SIMULATOR OF PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS)

O iSPD foi idealizado e é mantido pelo Grupo de Sistemas Paralelos e Distribuídos (GSPD) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Ele é um simulador orientado a eventos discretos voltado para modelagem e simulação de grades computacionais (MANACERO et al. 2012). Dentre as principais características do iSPD, busca-se prover facilidade de uso, por meio de uma interface icônica de modelagem e de módulos como o gerador automático de políticas de escalonamento. Tais recursos permitem que o usuário utilize o simulador mesmo sem possuir conhecimentos em programação.

Quanto à arquitetura do iSPD, a

mesma divide-se em módulos, que desempenham funções bem definidas. Um diagrama de relacionamento entre os módulos constituintes do iSPD é exibido na figura 1 e uma descrição de cada um dos módulos é dada a seguir:

- Interface icônica: Módulo responsável pela modelagem através de ícones que representam os elementos que constituem a grade computacional. Outra função deste módulo é a configuração da carga de trabalho;
- Interpretador de modelos internos: Módulo responsável por interpretar o modelo icônico, convertendo-o para o modelo simulável, utilizado pelo motor de simulação;
- Interpretador de modelos externos e Exportador de modelos internos: Módulos responsáveis por interpretar modelos gerados a partir de outros simuladores, atualmente Simgrid (CASANOVA; 2001) e GridSim (BUYYA; MURSHED; 2002), para modelos icônicos do iSPD e exportar modelos icônicos do iSPD para modelos correspondentes desses mesmos simuladores;
- Motor de simulação: Módulo responsável por realizar a simulação de eventos discretos a partir da leitura de um modelo simulável. Outra função deste módulo é apresentar os resultados e métricas da simulação realizada;
- Gerador de escalonadores: Módulo responsável por gerenciar os escalonadores disponíveis para uso na simulação e gerar novas políticas de escalonamento de maneira facilitada, através de formulações matemáticas simples.

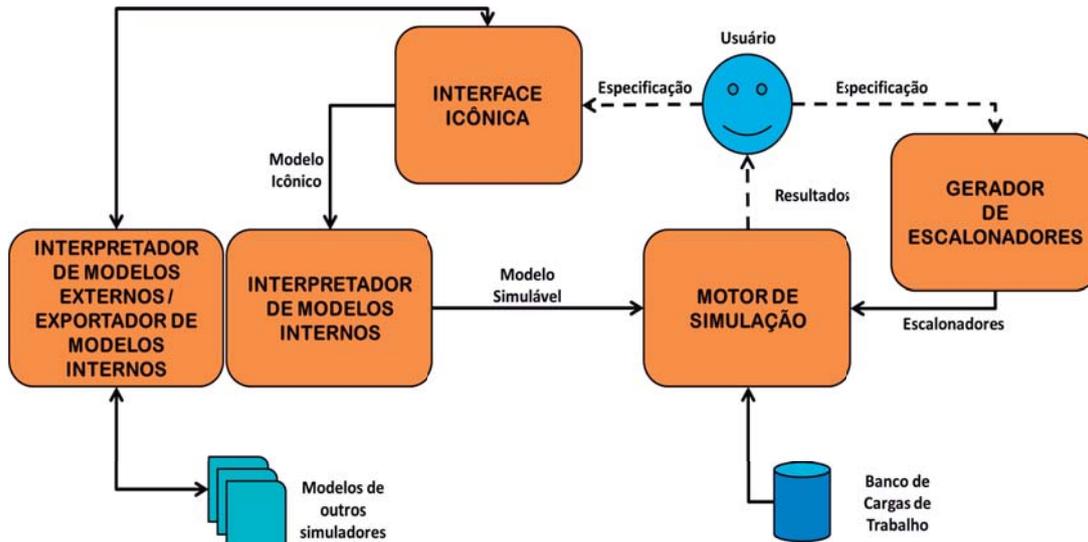


Figura 1 - Diagrama de relacionamento entre módulos do iSPD

3. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM

Para se realizar a modelagem e simulação de ambientes de computação em nuvem é necessário primeiro estudar como elementos que representam os recursos e carga de trabalho podem ser caracterizados. Para cada elemento identificado é preciso então modificar o iSPD de modo a acomodar a modelagem e simulação desses ambientes. Desse modo, apresenta-se a seguir uma descrição dessas atividades.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS E CARGA DE TRABALHO DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM

Para a caracterização do ambiente de computação em nuvem selecionou-se os seguintes elementos para a modelagem dos recursos:

- Máquina individual (Processing Element – PE's): contendo informações sobre seu proprietário, número de núcleos de processamento, poder computacional por núcleo (GFlops), quantidade de memória primária e secundária (GB), custo de utilização por processamento (\$/GFlops), custo por uso de memória (\$/GB), custo por uso

de disco (\$/GB), fator de carga (%) e informação se o recurso é elemento de processamento ou gerenciador de máquinas virtuais (*Virtual Machine Manager - VMM*);

- Cluster (conjunto de PEs com configuração homogênea): Com informações sobre proprietário, número de elementos (PEs), número de núcleos (cores) por elemento, quantidade de memória primária e secundária (GB), custos de utilização por processamento (\$/GFlops), memória (\$/GB) e disco (\$/GB) para cada nó, banda de comunicação (Mbps) e latência de transmissão (s) entre nós, e por fim a disciplina do VMM;
- Enlace e internet: Com informações sobre banda de passagem (Mbps), latência de transmissão (s) e fator de carga da rede (%);
- Máquinas virtuais: Com informações sobre máquina hospedeira e usuário contratante, quantidade de processamento dedicado (GFlops), quantidade de memória primária (GB) e secundária (GB) alocada e informação sobre o S.O. instalado.

Destaca-se que a escolha dos recursos caracterizados buscou manter os elementos preexistentes no iSPD, criando-se apenas o elemento de máquina virtual, dado que a ferramenta não apresentava até então capacidade de modelagem de virtualização.

A modelagem da carga de trabalho de nuvem, por sua vez, constitui-se de uma ou mais aplicações. Cada aplicação é caracterizada por uma lista de tarefas e um conjunto de atributos com informações sobre usuário dono da aplicação, modelo de particionamento (BoT (*Bag of Tasks*) ou DAG (*Directed Acyclic Graph*)), quantidade de núcleos de processamento, memória e disco contratados. Por fim, a caracterização das tarefas varia de acordo com o modelo de particionamento da aplicação. Um diagrama da estrutura da carga de trabalho de nuvem para o iSPD, como acima descrita, é apresentado na figura 2.



Figura 2 - Estrutura de caracterização da carga de trabalho de nuvem para o iSPD

Quanto às classes de serviço de computação em nuvem a serem simuladas, optou-se pela modelagem das classes de IaaS e PaaS, voltando-se às necessidades de modelagem tanto de clientes quanto de provedores de computação em nuvem, como avaliação de desempenho de aplicações e estudo de políticas de alocação de VMs e escalonamento de tarefas. Desta forma a maneira como a modelagem de cada classe de serviço é realizada está descrita a seguir, sendo importante destacar que a simulação e modelagem de PaaS não é amplamente encontrada em outros simuladores de nuvem:

- **Infrastructure-as-a-Service (IaaS):** Para esta classe de serviço o usuário deve configurar todos os elementos que constituem a infraestrutura, a política de escalonamento das tarefas do VMM e deve também configurar as máquinas virtuais nos recursos específicos em que as mesmas serão instanciadas;
- **Platform-as-a-Service (PaaS):** Para esta classe de serviço o usuário deve configurar os elementos da infraestrutura e configurar as VMMs ajustando a política de escalonamento das tarefas e também a política de alocação de máquinas virtuais buscando atender as necessidades das aplicações configuradas pela carga de trabalho.

3.2 PRÓXIMAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

Para a conclusão efetiva deste trabalho ainda se deve finalizar as seguintes ações:

- **Especificação dos eventos discretos referentes à virtualização:** Consiste em definir os eventos discretos que devem ser incluídos no motor de simulação de eventos discretos, a fim de representar as etapas de virtualização durante a simulação;
- **Modelagem dos centros de serviço para computação em nuvem:** Consiste em estudar a implementação dos modelos de filas que irão implementar os recursos virtualizados para a simulação de eventos de discretos;
- **Implementar alterações para o motor de simulação:** Consiste em implementar todas as ações anteriores, a fim de permitir de fato a simulação de serviços de computação em nuvem;
- **Implementar políticas de escalonamento e alocação de VMs:**

- Consiste em implementar políticas de escalonamento de tarefas e de alocação de máquinas virtuais, para que possam ser implementados os recursos de VMM. Nesta versão serão implementadas apenas políticas mais simples.
- Implementação de métricas: Após a implementação de toda a estrutura especificada, faz-se necessário, estudar e selecionar um conjunto de métricas interessantes à simulação de computação em nuvem e implementá-las no intuito de oferecer um conjunto de resultados relevantes da simulação aos usuários;

4. TRABALHOS RELACIONADOS

Existe um número relativamente pequeno de simuladores de computação em nuvem disponíveis e presentes na literatura. Dentre esses simuladores vários apresentam documentação escassa ou estão em fase de protótipo. Outro caso ainda mais comum é o de simuladores que são voltados para aplicações mais específicas e que são construídos utilizando-se de outros mais genéricos, apenas estendendo suas funcionalidades.

Desta forma, é possível destacar três simuladores que possuem boa popularidade e documentação. Suas principais características são apresentadas a seguir:

- CloudSim (BUYYA; RANJAN; CALHEIROS; 2009): Proposto por Buyya, é desenvolvido em Java e consiste, basicamente, num conjunto de bibliotecas que implementam as classes de elementos necessários para a simulação de computação em nuvem. Destaca-se como ponto negativo desta abordagem a inexistência de uma interface gráfica de auxílio à modelagem. Desta forma, para utilizar este simulador, o usuário precisa possuir conhecimento prévio em programação em Java e conseqüentemente

conheça o paradigma de orientação a objeto;

- iCanCloud (CASTANE; NUNEZ; CARRETERO; 2012): Proposto por Pérez, é desenvolvido através dos frameworks OMNeT++ e INET, e embora apresente uma interface gráfica de modelagem, exige de seus usuários conhecimento prévio dessas ferramentas. O foco deste simulador está na simulação da classe de serviços de IaaS;
- GreenCloud (KLIASOVICH; 2010): Proposto por Kliazovich, é uma extensão da plataforma Network Simulator NS2 (ISI; 2013), e suas linguagens de desenvolvimento e modelagem são o C++ e scripts de Tcl (Tool command language). O simulador possui uma interface gráfica desenvolvida, embora a mesma não seja nativa do simulador e deve ser baixada como uma extensão. O foco do simulador é completamente voltado para desempenho energético, focando principalmente na análise da comunicação da nuvem. Outro aspecto negativo da ferramenta é o fato na mesma não possuir suporte a modelagem de virtualização.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido permite concluir que é possível modelar sistemas de computação em nuvem segundo a abordagem icônica do iSPD. A principal contribuição desta abordagem é oferecer um ambiente de modelagem amigável para a simulação desses sistemas, isentando o usuário da necessidade de possuir conhecimentos em diversos frameworks e linguagens de programação para modelar e simular o sistema de seu interesse.

Finalmente, é importante destacar que embora a modelagem de IaaS seja comum na maioria dos simuladores, os mesmos não tratam de PaaS, como planejado neste trabalho. Pode-se destacar então que as grandes contribuições deste trabalho

são a modelagem icônica de computação em nuvem e a possibilidade de modelar ambientes de serviço PaaS.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq, pelo auxílio através de bolsa de mestrado acadêmico, e à FAPESP, pelo auxílio através do investimento em equipamentos e bolsa de treinamento técnico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUYYA, R.; BROBERG, J.; GOSCINSKI, A. Cloud Computing: Principles and Paradigms. Wiley, 2011. (Wiley Series on Parallel and Distributed Computing). ISBN 9781118002209. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=S1NvRRd77rQC>>
- BUYYA, R.; MURSHED, M. Gridsim: a toolkit for the modeling and simulation of distributed resource management and scheduling for grid computing. *Concurrency and Computation: Pract. and Exper.*, v. 14, p. 1175–1220, 2002. ISSN 0038-0644.
- BUYYA, R.; RANJAN, R.; CALHEIROS, R. N. Modeling and simulation of scalable cloud computing environments and the Cloudsim toolkit: Challenges and opportunities. *CoRR*, abs/0907.4878, 2009.
- CASANOVA, H. Simgrid: a toolkit for the simulation of application scheduling. In: *Proceedings of the First IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid2001)*. [S.l.: s.n.], 2001. p. 430–437.
- CASTANE, G. G.; NUNEZ, A.; CARRETERO, J. iCan-Cloud: A brief architecture overview. In: *ISPA. IEEE*, 2012. p. 853–854. ISBN 978-1-4673-1631-6. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/ispa/ispa2012.html#CastaneNC12>>.
- ISI, I. S. I. Network simulator - ns2. Disponível em <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>>. 2013.
- KLIAZOVICH, D. et al. GreenCloud: A packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers. In: *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010)*, 2010IEEE. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–5. ISSN 1930-529X.
- MANACERO, A. et al. iSPD: an iconic-based modeling simulator for distributed grids. In: *Annals of 45th Annual Simulation Symposium*. Orlando, USA: [s.n.], 2012. (ANSS12, CDROM), p. 1–8.
- MELL, P.; GRANCE, T. *The NIST Definition of Cloud Computing*. Gaithersburg, MD, 2011. Disponível em: <<http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>>.
- RITTINGHOUSE, J.; RANSOME, J. F. *Cloud Computing: Implementation, Management, and Security*. [S.l.]: CRC, 2009.
- SASIKALA, P. Cloud computing: present status and future implications. *IJCC*, v. 1, n. 1, p.23–36, 2011.

Diogo Tavares da Silva é bacharel em Ciência da Computação (2012) pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) e atualmente é mestrando em ciência da computação com ênfase em arquitetura e sistemas de computação pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UNESP (PPGCC-UNESP) com bolsa de mestrado pelo CNPq. Suas áreas de interesse incluem avaliação de desempenho de sistemas e simulação de computação em nuvem.

Aleardo Manacero Junior é Livre-Docente em Sistemas de Computação (2004) pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Graduiu-se em Engenharia Elétrica (1987), e obteve os títulos de Mestre (1991) e Doutor em Engenharia Elétrica/Automação (1997), todos pela Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Estadual de Campinas. Foi professor visitante junto ao Dept. of Computer and Information Sciences da Universidade de Oregon, EUA, entre agosto de 2010 e dezembro de 2011. Atualmente é professor adjunto da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, tendo coordenado o curso de graduação em Ciência da Computação, e também o Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UNESP. Atua principalmente em análise de desempenho, programação paralela, simulação, sistemas de tempo-real e metodologias de ensino de computação.

Denison Menezes é mestre em ciência da computação pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (2012). Atualmente desenvolve pesquisas no laboratório do Grupo de Sistemas Paralelos e Distribuídos (GSPD) da UNESP, como bolsista de treinamento técnico TT-4 da FAPESP. Suas áreas de interesse incluem micro controladores, FPGA, simulação, computação em grade e sistemas distribuídos.

Renata Spolon Lobato é docente da Universidade Estadual Paulista (UNESP) desde 2004. Foi docente da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul de 1995 a 2004. Possui graduação e mestrado em Ciências de Computação e doutorado em Ciências pela Universidade de São Paulo. É livre-docente em Sistemas Distribuídos pela UNESP e docente credenciada do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da UNESP. Suas áreas de interesse são: simulação, simulação distribuída, avaliação de desempenho, sistemas distribuídos, computação paralela e de alto desempenho.

Roberta Spolon é docente da Universidade Estadual Paulista (UNESP) desde 1992. É livre-docente em Sistemas Distribuídos pela UNESP, Doutora em Ciências e Mestre em Ciências de Computação pela Universidade de São Paulo (USP) e graduada em Ciência da Computação pela UNESP. É líder do Grupo de Pesquisa "Sistemas Computacionais Avançados". É professora do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UNESP. Atua como revisora de periódicos e membro de diversos comitês científicos. Suas áreas de interesse incluem simulação, simulação distribuída, sistemas distribuídos, virtualização, computação de alto desempenho e paralelismo.

Arthur Jorge é bacharelando em ciência da computação pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Sua área de interesse é a simulação de computação em nuvem.