

ANEXO I: DESCRIÇÃO DO PROJETO

**EDITAL PARA SELEÇÃO DE BOLSISTAS PDSE 2020 –
DOUTORADO SANDUÍCHE**

**PROJETO: GERÊNCIA DE RECURSOS EM NUVENS PARA EXECUÇÃO DE
APLICAÇÕES DE ALTO DESEMPENHO**

**Título/Title: Gerência de Recursos em Nuvens para Execução de
Aplicações de Alto Desempenho**

*Resource Management in Clouds for Executing High Performance
Applications (ReMatCH)*

Tema/Theme: Inovação tecnológica de processos e produtos, otimização de sistemas e serviços, nanociências, computação científica e materiais inteligentes

Technological Innovations of processes and products, systems and service optimizations

Início/Start: 01/08/2018

Término/End: 30/06/2022

Coordenadora/Coordinator: Lúcia Maria de Assumpção Drummond

E-mail: lucia@ic.uff.br

Telefone/Phone: 21-99633-0028

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9314029648579658>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9939-1731>

Programa de Pós-Graduação em Computação

1. Resumo do Projeto / Project Summary

O presente projeto visa resolver o problema de alocação e gerência de recursos em nuvens de computadores para aplicações HPC, minimizando o tempo de execução, consumo de energia e maximizando a tolerância a falhas, sem violar acordos de nível de serviço (SLA), e usando aplicações da biologia como estudo de caso. Tradicionalmente a computação em nuvem tem sido usada para compartilhamento de dados e serviços de uso geral, entretanto esta também tem aparecido como uma alternativa promissora para executar aplicações de HPC (High Performance Computing), mais recentemente. Este paradigma computacional

oferece diversas vantagens quando comparado a uma infraestrutura dedicada, tais como o rápido provisionamento de recursos e significativa redução de custos operacionais. Entretanto, alguns desafios devem ser superados para reduzir a diferença entre o desempenho oferecido por uma infraestrutura dedicada e pelas nuvens.

Overheads introduzidos pela camada de virtualização, heterogeneidade de hardware e altas latências de rede afetam negativamente o desempenho das aplicações HPC. Além disso, provedores de nuvens, geralmente adotam políticas de compartilhamento de recursos que podem reduzir ainda mais o desempenho de tais aplicações. Tipicamente, um servidor físico pode hospedar várias máquinas virtuais que podem causar contenção no acesso a recursos compartilhados, como cache e memória principal, reduzindo significativamente seus desempenhos. Além disso, a seleção de máquinas virtuais e sua configuração manual é tarefa bastante complexa para cientistas que desenvolvem aplicações HPC e não são experts em ferramentas de administração de nuvens. Os escalonadores de aplicações que possuem diversas políticas que variam de acordo com a função objetivo como minimizar o tempo de execução total, minimizar a demanda por energia, mantendo uma garantia de nível de serviço com o usuário, entre outras, tem papel fundamental para garantir a eficiência da execução de tais aplicações. A fim de alavancar o uso de nuvens para execução de aplicações HPC, este projeto visa tratar esses diversos aspectos. A importância do uso de nuvens para execução de aplicações HPC, pode ser observada por algumas iniciativas, tal como o UberCloud, que tem oferecido serviço de HPC na nuvem, onde os usuários podem discutir a experiência de usar tal ambiente.

Como estudo de caso consideramos principalmente experimentos na área de bioinformática e, em especial, a genômica comparativa.

This project aims to solve the problem of resource allocation and management in cloud computing for HPC applications, minimizing execution time, power consumption and maximizing fault tolerance without violating SLA, and using applications from the field of biology as a case study. Cloud computing has traditionally been used for data sharing and general purpose services, but more recently it has begun to emerge as a promising alternative for High Performance Computing (HPC) applications. This computational paradigm offers several advantages when compared to a dedicated infrastructure, such as rapid provisioning of resources and significant reduction of operational costs. However, some challenges must be overcome to bridge the gap between the performance offered by a dedicated infrastructure and the clouds.

Overheads introduced by the virtualization layer, hardware heterogeneity and high network latencies negatively affect the performance of HPC applications. In addition, cloud providers generally adopt resource-sharing policies that can further reduce the performance of such applications. Typically, a physical server can host multiple virtual machines that can cause contention in accessing shared resources, such as cache and main memory, significantly reducing their performance. In addition, the selection of virtual machines and their manual configuration is a rather complex task for scientists who develop HPC applications and are not experts in cloud administration tools. This problem becomes even more complex if we consider scenarios where scientists must perform a number of HPC applications with data dependence (i.e. workflow). Application schedulers that have multiple policies that vary

according to the objective function such as minimizing the total execution time, minimizing the demand for energy, maintaining a guarantee of service level with the user, among others, play a fundamental role in ensuring the efficiency of the execution of such applications. In order to leverage the use of clouds to execute HPC applications, this project aims to address these various aspects. The importance of using clouds to run HPC applications can be observed by some initiatives, such as UberCloud, which has offered HPC cloud service where users can discuss the experience of using such an environment.

As a case study, we consider mainly experiments in the area of bioinformatics and, in particular, comparative genomics.

2. Objetivos/Goals

O objetivo deste projeto é prover melhores soluções para resolver o problema de gerência de recursos para execução de aplicações de alto desempenho em nuvens de computadores. Para isso, abordaremos os problemas de escalonamento estático e dinâmico de máquinas virtuais (MVs) e contêineres visando a minimização do tempo de execução, economia de energia e maximizando a tolerância a falhas sem violar os acordos de nível de serviço contratados. Particularmente, trataremos aplicações da bioinformática como estudos de caso. Este projeto está dividido em 4 tópicos:

- Tópico 1: Escalonamento Estático e Dinâmico de MVs e contêineres no contexto de aplicações HPC. Esta parte do projeto tem como objetivo elaborar um modelo matemático e heurísticas para escalonamento estático e dinâmico de MVs com o objetivo de reduzir a interferência entre MVs alocadas, utilizando a menor quantidade possível de máquinas físicas para alocar essas MVs.
- Tópico 2: Tolerância a falhas. Como consequência do grande número de máquinas, as nuvens são altamente propensas a falhas. Para satisfazer os acordos de nível de serviço dos usuários, a tolerância a falhas de MV em nuvens é um problema crucial a ser tratado neste projeto.
- Tópico 3: Latência de acesso à nuvem. Altas latências na rede de acesso a nuvem afetam negativamente o desempenho das aplicações HPC. Esse problema é ainda maior quando se tem uma nuvem multiusuários, dada a heterogeneidade das redes de acesso usadas por esses usuários. Portanto, o objetivo dessa tarefa é avaliar e propor novos mecanismos que utilizem técnicas de aproximação para reduzir a latência entre os usuários e a nuvem.
- Tópico 4: Estudo de caso em Bioinformática. Em trabalhos anteriores, algoritmos paralelos e ferramentas para Comparação de Sequências Biológicas foram desenvolvidas para GPUs, grids e multicóres. Apesar de terem sido obtidas reduções muito boas no tempo de execução, as ferramentas são standalone. Sendo assim, é muito importante a adaptação dessas ferramentas para execução em uma plataforma mais poderosa e heterogênea, como uma nuvem que contenha multicóres e aceleradores, tais como GPUs e Intel Phi.

Neste contexto, pretendemos também alcançar as seguintes metas:

- Escrita de 25 artigos para congressos e periódicos internacionais e 2 Produtos de software.
- Captação de recursos da comunidade europeia através de submissão de projetos, como contrapartida (capes-cofecub, stic-amsud, H2020).
- Formação de 10 doutores.

The objective of this project is to provide better solutions to solve the problem of resource management for execution of high performance applications in clouds of computers. For this, we will address the static and dynamic scheduling problems of virtual machines (VMs) and containers in order to minimize execution time, save energy and maximize fault tolerance without violating contracted service level agreements. Particularly, we will treat bioinformatics applications as case studies. This project is divided into 4 topics:

- *Topic 1: Static and Dynamic Scheduling of VMs and Containers in the Context of HPC Applications. This part of the project aims to develop a mathematical model and heuristics for static and dynamic MV scheduling with the objective of reducing the interference between allocated MVs, using as few physical machines as possible to allocate these MVs.*
- *Topic 2: Fault Tolerance. As a consequence of the large number of machines, clouds are highly prone to failure. To meet users' service level agreements, fault tolerance is a crucial problem to be tackled in this project.*
- *Topic 3: Cloud access latency. High latencies in the cloud access network negatively affect the performance of HPC applications. This problem is even greater when one has a multiuser cloud, given the heterogeneity of the access networks used by these users. The goal of this task is to evaluate and propose new mechanisms that use approximation techniques to reduce latency between users and the cloud.*
- *Topic 4: Case study in the bioinformatics domain. In previous works, parallel algorithms and tools for Comparison of Biological Sequences were developed for GPUs, grids and multicores. Although very good reductions in execution time, the tools are standalone. Therefore, it is very important to adapt these tools to run on a more powerful and heterogeneous platform, such as a cloud that contains multicores and accelerators, such as GPUs and Intel Phi.*

In this context, we also aim to achieve the following goals:

- *Funding of the European community through submission of projects, as a counterpart (capes-cofecub, stic-amsud, H2020).*
- *25 conference and international journals papers and 1 patented software.*
- *10 Ph.D. thesis.*

3. Aspectos inovadores da proposta / Innovative aspects of the proposal

Aplicações estratégicas para o país, como as da área de petróleo, meteorologia e biologia, dependem de HPC para processar grandes quantidades de dados. Nuvens computacionais

têm surgido como uma alternativa de baixo custo para HPC, oferecendo um conjunto de recursos virtualizados que podem ser rapidamente provisionados e dinamicamente escalonáveis. Porém, ainda existem diversas barreiras para seu uso. Uma delas está em fazer uso eficiente e escalável dos recursos e da alocação das máquinas virtuais tendo impacto direto no desempenho e no consumo de energia. Além disso, as nuvens são altamente propensas a falhas e para satisfazer os acordos de nível de serviço, a tolerância a falhas de MV em nuvens é uma grande preocupação. Ainda há os problemas de latência e de perdas nas redes de acesso à nuvem, que podem inviabilizar o uso da nuvem por aplicações específicas. Os aspectos inovadores estão relacionados com a especificação de um mecanismo de gerenciamento que visa otimizar um problema multi-objetivo ao executar uma aplicação HPC em nuvem: considera a minimização do tempo de execução total da aplicação de um modelo de nuvem e a minimização de os custos financeiros. Normalmente, ao enviar sua aplicação para o ambiente em nuvem, o usuário deve fornecer uma série de informações não apenas relacionadas ao aplicativo, mas também ao ambiente, que muitas vezes afetará negativamente a execução dos aplicativos. A natureza adaptativa da alocação e dimensionamento da Máquina Virtual vem ao encontro do objetivo da elasticidade a ser desenvolvido por uma estrutura de escalonador dinâmico, que ao mesmo tempo deve decidir automaticamente o número de VMs ativas para que os objetivos sejam alcançados e restrições respeitadas. Para validar os aspectos a serem desenvolvidos nos tópicos acima abordados, o estudo de caso fornecerá meios para ter uma aplicação da vida real, que precise de um ambiente computacional, como as nuvens devido à grande quantidade de dados a serem processados. Novamente, sem estratégias de escalonamento para automatizar sua execução, uma execução eficiente de tal aplicação não seria possível. Pretendemos juntar à experiência brasileira em programação e otimização de recursos com a experiência francesa em tolerância a falhas no contexto da computação em nuvem. Desta forma, podemos estabelecer uma parceria de longo prazo e criar um grupo de pesquisa em gerenciamento de recursos para resolver problemas do mundo real, como aqueles relacionados a e-science.

Strategic applications for Brazil, such as oil, meteorology and biology, rely on HPC to process large amounts of data. Computational clouds have emerged as a low cost alternative to HPC, offering a set of virtualized resources that can be quickly provisioned and dynamically scaled. However, there are still several barriers to its use. One is to make efficient and scalable use of resources and the allocation of virtual machines that have a direct impact on performance and power consumption. In addition, clouds are highly prone to failures and to meet service level agreements, tolerance to MV cloud failures is a major concern. There are also problems concerning latency and losses in the access networks that compromise the use of the cloud by particular applications. The innovative aspects are concerned with the specification of a management mechanism that aims to optimize a multi-criteria objective when executing a HPC application on a cloud system: considers the minimization of the total execution time of the application of a cloud model and the minimization of the financial costs. Usually, when submitting his or her application to the cloud environment, the user should provide some detailed information not only related to the application but also, to the environment, which inappropriately specified will, many times, negatively affect the execution and performance of the applications. The adaptive nature of

the Virtual Machine allocation and dimensioning must be combined with the objectives of elasticity to develop a dynamic scheduler framework, which at the same time should automatically decide on the number of VMs to be active so that the objectives are achieved and the restrictions respected. In order to validate the aspects to be developed in the topics above addressed, the case study will provide means to have an real life application which needs a high performance computational environment like the clouds due to the high amount of data to be processed. We intend to join the Brazilian expertise in scheduling and resource optimization with the French expertise in fault-tolerance in the context of cloud computing. This way we can establish a long-term partnership, and create a research group in resource management to solve real-world problems such as those related to e-science.