



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DE LONGO PRAZO DA SIMULAÇÃO
IONOSFÉRICA DO INPE COM DADOS OBSERVACIONAIS E MODELOS
IONOSFÉRICOS**

Gabriela Luisa Eckel

Relatório Final de Iniciação
Científica do programa PIBIC,
orientada pelo Dr. Adriano Petry.

INPE
Santa Maria
2020

RESUMO

A ionosfera é a camada da atmosfera na qual existem elétrons livres e íons eletricamente carregados. O sistema de previsão de dinâmica da ionosfera foi desenvolvido e é executado diariamente, com uma previsão de 24 horas à frente. O conteúdo total de elétrons na ionosfera interfere nos dados de posicionamento de sistemas globais de navegação por satélites (GNSS), portanto as simulações são de grande importância na prevenção de erros de posicionamento. Parte do sistema de previsão ionosférica foi desenvolvido no INPE em linguagem C++, e é focado na interpolação dos dados oriundos do SUPIM. Atualmente, a HPC (computação de alto desempenho) oferece recursos computacionais necessários para esse tipo de aplicação, e o grande poder de processamento disponibilizado por esses ambientes garante o tempo necessário para obter os mais diversos resultados seja reduzido de maneira exponencial. Por esse motivo tornam-se necessários SGR (sistemas gerenciadores de recursos) eficientes, capazes de distribuir os trabalhos dentro de um cluster da melhor forma. Assim desenvolveu-se um trabalho que visava avaliar e comparar dois SGR: OAR e Slurm. OAR é um gerenciador versátil de recursos e tarefas (também chamado de agendador de lotes) para clusters de HPC e outras infraestruturas de computação, como bancos de teste experimentais de computação distribuída. SLURM (Slurm Workload Manager) é um sistema de gerenciamento de cluster e agendamento de tarefas de código aberto, tolerante a falhas e altamente escalável para ambientes de alto desempenho computacional. Na pesquisa realizada foram executadas quinze simulações ionosféricas em quatro dias diferentes para os dois SGR's. Cada simulação contava com 5 nós de processamento, dos quais foram coletados dados de desempenho de CPU, Memória e tempo, e duas etapas da simulação foram avaliadas. Após a realização de todos os experimentos e análises, constatamos que o SLURM obteve melhor resultado nos dados oriundos da execução da primeira etapa. Contudo, mesmo o OAR obtendo resultados similares para tempo de execução na segunda etapa, o SLURM conseguiu concluir a execução total da previsão ionosférica em menor tempo. Ressalta-se que os experimentos foram realizados em um ambiente real onde a aplicação científica roda diariamente e mesmo que o OAR tenha pior desempenho em relação ao SLURM, o tempo total de simulação de ambos os SGRs é aceitável para a disponibilização diária dos resultados.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. DADOS E METODOLOGIA.....	4
3. RESULTADOS.....	5
4. CONCLUSÃO.....	7
5. REFERÊNCIAS.....	8

1. INTRODUÇÃO

A ionosfera é a camada da atmosfera na qual existem elétrons livres e íons eletricamente carregados. O sistema de previsão de dinâmica da ionosfera foi desenvolvido e é executado diariamente, com uma previsão de 24 horas à frente. O conteúdo total de elétrons na ionosfera interfere nos dados de posicionamento de sistemas globais de navegação por satélites (GNSS), portanto as simulações são de grande importância na prevenção de erros de posicionamento. Parte do sistema de previsão ionosférica foi desenvolvido no INPE em linguagem C++, e é focado na interpolação dos dados oriundos do SUPIM. [Prahbu 2008]

Atualmente, a HPC (computação de alto desempenho) oferece recursos computacionais necessários para aplicações que apresentam alta demanda de recursos computacionais, em áreas como mercado financeiro, previsão de tempo e simulação de fluidos físicos. O grande poder de processamento disponibilizado por ambientes de alto desempenho garante que o tempo necessário para obter os mais diversos resultados seja reduzido de maneira exponencial. [Sloan 2004]

O cluster é um exemplo de arquitetura de alto desempenho que fornece alta capacidade de processamento através da interconexão de computadores, normalmente chamados de nós, por meio de uma rede de alta velocidade, visando a distribuição do processamento requerido para solução de problemas, que na maioria das vezes não seria possível usando um computador convencional. O SGR (Sistema Gerenciador de Recursos) é responsável por realizar o gerenciamento dos jobs, usuários e dos recursos computacionais distribuídos em um cluster, a fim de obter os resultados de forma rápida e eficiente. A escolha de um SGR é fundamental para otimização do uso dos recursos disponíveis, e alternativas como o SLURM e OAR são muito difundidas nestes ambientes. [Nicolas et al. 2016] [Yoo et al. 2003]

Este estudo busca avaliar e comparar os SGRs SLURM e OAR em uma aplicação científica real de previsão ionosférica, realizada diariamente no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CRCRS/INPE). A aplicação gera mapas de TEC (Conteúdo Eletrônico Total) para a região da América do Sul que são disponibilizados em <http://www2.inpe.br/climaespacial/portal/tec-supim-previsao/>. [Petry et al. 2014]

2. DADOS E METODOLOGIA

Durante o período da bolsa foram realizados duas pesquisas, onde a segunda é uma evolução da primeira, por este motivo optamos por detalhar a pesquisa que foi aceita para publicação no Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho (WSCAD 2020).

Os experimentos foram realizados em um cluster de uso dedicado localizado no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CRCRS/INPE). O cluster utilizado possui 5 nós de processamento e um nó de controle.

Para avaliação da performance dos SGRs foi escolhida a região da América do Sul para realização das simulações ionosféricas. A avaliação dos experimentos foi realizada separadamente para a execução do modelo SUPIM, que utiliza predominantemente recursos para cálculos matemático, e o subsistema DAVS, onde o processamento matemático e uso de memória são mais equilibrados. Para região escolhida, o SUPIM executa em 56 jobs paralelos numa simulação, onde cada job representa uma longitude diferente da região escolhida (-35°W até -85°W). O DAVS executa 24 processos, correspondendo a cada hora simulada ao longo de um dia de previsão ionosférica. Todas as rodadas, tanto do SUPIM quanto do DAVS, foram executados de forma exclusiva em todos os nós do cluster, garantindo assim uma maior confiabilidade nos resultados. Foram coletados dados de CPU, memória e tempo de execução e realizados cálculos de taxas médias para os mesmos.

3. RESULTADOS

A análise conjunta das Figuras abaixo nos permite inferir que o SLURM apresentou, em quase todos os casos avaliados, uma maior taxa de utilização de recursos, tanto de CPU quanto memória, quando comparado ao OAR. Espera-se, assim, que essa otimização na utilização de recursos resulte em menores tempos totais de execução da aplicação



Na Tabela podemos avaliar o tempo total de execução médio requerido para as simulações executadas. Claramente, a execução do SUPIM é significativamente mais demorada que o DAVS, devido o processamento de uma gama de informações para realizar a previsão de toda ionosfera de forma tridimensional.

Tabela 2. Média de tempo para simulações em horas

	SUPIM	DAVS	SUPIM+DAVS
20/03/2019			
OAR	02:01:08	00:18:06	02:20:29
SLURM	01:25:10	00:19:20	01:44:56
20/04/2019			
OAR	02:33:35	00:19:12	02:52:38
SLURM	01:24:09	00:19:36	01:44:20
21/05/2019			
OAR	03:04:03	00:21:25	03:25:33
SLURM	01:44:50	00:19:15	02:05:02
21/06/2019			
OAR	02:25:25	00:17:38	02:43:32
SLURM	01:52:09	00:19:06	02:10:59

Na segunda coluna da Tabela, podemos observar o tempo utilizado para a execução da primeira parte da simulação ionosférica (SUPIM), onde podemos verificar que o SLURM usou significativamente menos tempo que o OAR para executar, em todos os dias simulados, em razão das taxas mais altas de uso de CPU apresentadas. Nesta etapa fica claro que o SLURM conseguiu aproveitar os recursos computacionais disponíveis de uma forma mais eficiente.

Na terceira coluna da Tabela são apresentados os tempos de execução para o DAVS referente a cada dia de simulação. Nesta coluna é possível observar que o SLURM obteve desempenho similar ao OAR, e em dois dias de experimentos até obteve desempenho inferior ao OAR. Com isso, é possível observar que o OAR consegue trabalhar de uma forma mais otimizada quando a aplicação possui um número de jobs reduzidos e com baixa requisição de CPUs.

Já na última coluna da Tabela, nota-se que apesar dos tempos de execução mais equilibrados entre os SGRs na execução do DAVS, a predominância dos tempos do SUPIM, significativamente maiores, resultaram em tempos totais favoráveis à utilização do SLURM, que proporcionou melhorias consideráveis nos tempos requeridos, com redução média de 53 minutos.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve com objetivo avaliar e comparar dois SGRs, OAR e SLURM, em um ambiente de alto desempenho utilizando uma aplicação científica. Para a avaliação foram analisados os dados de taxa de utilização de memória, taxa de utilização de CPU e tempo de execução utilizando cada um dos SGRs para quatro dias de simulações ionosféricas. Após a realização de todos os experimentos e análises, constatamos que o SLURM obteve melhor resultado dos dados oriundos da execução do SUPIM. Contudo, mesmo o OAR obtendo resultados similares para tempo de execução no DAVS, o SLURM conseguiu concluir a execução da previsão ionosférica em menor tempo.

É importante destacar que os experimentos foram realizados em um ambiente real onde uma aplicação científica executa diariamente e mesmo o OAR apresentando resultados inferiores, quando comparado ao SLURM, o tempo total de execução da simulação de ambos SGRs é aceitável para disponibilização diária dos resultados. Como pesquisas futuras pretende-se testar os dois SGRs em um ambiente formado por nós com configuração heterogênea e com algoritmos de escalonamento distintos aplicados aos SGRs, onde será possível analisar outras métricas de desempenho de sistemas gerenciadores de recursos em um ambiente real.

O período da bolsa resultou em uma publicação [Eckel 2020] na Escola Regional de Alto Desempenho da Região Sul e um artigo aprovado para publicação no Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho.

5. REFERÊNCIAS

Gvozdetska, N., Globa, L., and Prokopets, V. (2019). Energy-efficient backfill-based scheduling approach for slurm resource manager. In 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), pages 1–5.

Petry, A., de Souza, J. R., de Campos Velho, H. F., Pereira, A. G., and Bailey, G. J.(2014). First results of operational ionospheric dynamics prediction for the brazilian space weather program. *Advances in Space Research* , 54(1):22–36.

Prabhu, C. (2008). *Grid and cluster computing*. PHI Learning Pvt. Ltd.

Sloan, J. D. (2004). *High Performance Linux Clusters with OSCAR, Rocks, OpenMosix, and MPI: A Comprehensive Getting-Started Guide*. O'Reilly Media, Inc.

Yoo, A. B., Jette, M. A., and Grondona, M. (2003). Slurm: Simple linux utility for resource management. In Feitelson, D., Rudolph, L., and Schwiegelshohn, U., editors, *Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*, pages 44–60, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.

Eckel, Gabriela L., Petry, Adriano, Puntel, Fernando E. (2020). Comparação de Desempenho para Gerenciadores de Recursos OAR e SLURM em Aplicação Científica de Simulação Ionosférica. ESCOLA REGIONAL DE ALTO DESEMPENHO DA REGIÃO SUL (ERAD-RS), 20. , 2020, Santa Maria. Anais da XX Escola Regional de Alto Desempenho da Região Sul. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, apr. 2020 . p. 57-60. ISSN 2595-4164.