

Avaliação de desempenho de implementação paralela do método CSEM 3D no supercomputador Santos Dumont

Mateus F. Lima de Souza^{1,2}, Rômulo T. Lima^{1,3}, Roberto P. Souto¹,
Antônio Tadeu A. Gomes¹, Tiziano Labruzzo^{1,4}, Andrea Zerilli^{1,4}

¹ Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)
Getúlio Vargas Av., 333, Quitandinha Petrópolis - RJ - Brasil

² Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-FR)
R. Gen. Canabarro, 485 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ - Brasil

³ Universidade Católica de Petrópolis (UCP)
R. Barão do Amazonas, 124 - Centro, Petrópolis - RJ - Brasil

⁴ Zlemlink Ltda
Rua Taylor 39, sala 805, Rio de Janeiro-RJ - Brasil

{facanha, romulotl, atagomes, tiziano}@lncc.br

Abstract. *This work presents a parallel execution result in the Santos Dumont supercomputer for an implementation of the CSEM 3D method. Concepts and methods for implementing parallel processing were employed to emphasize the use of computational resources in each node. Thus, it can be verified that there is a limitation in the improvement of performance when increasing the number of computational cores used in the available multicore CPU architecture.*

Resumo. *Este trabalho apresenta um resultado de execução paralela no supercomputador Santos Dumont para uma implementação do método CSEM 3D. Conceitos e métodos de implementação de processamento paralelo foram empregados para enfatizar o uso de recursos computacionais em cada nó. Assim, pode-se verificar que existe uma limitação na melhoria de desempenho ao aumentar o número de núcleos computacionais utilizados na arquitetura de CPU multicore disponível.*

1. Introdução

Controlled-Source Eletromagnetic (CSEM) é um método de mapeamento geofísico que emprega um monitoramento eletromagnético através de sensores para mapear a resistência elétrica da superfície aquática. Este método é utilizado em larga escala para diversas aplicações, tais como a exploração de hidrocarboneto utilizando tecnologia embarcada. Este trabalho teve como objetivo explorar a eficiência da paralelização MPI do código CSEM 3D [Zerilli et al. 2014, Zerilli et al. 2016], sendo esta uma implementação em Fortran por diferenças finitas. Outras implementações do método CSEM 3D, por elementos finitos e por volumes finitos (em Python), podem ser consultadas em [Werthmüller et al. 2021]. Como recursos computacionais foram utilizados de 12 até 384 processos MPI no supercomputador Santos Dumont (SDumont). É apresentada uma análise de desempenho paralelo para dois cenários: utilizando todos os núcleos computacionais e metade deles em cada nó. Percebeu-se uma sensível melhora no desempenho da aplicação com a segunda estratégia.

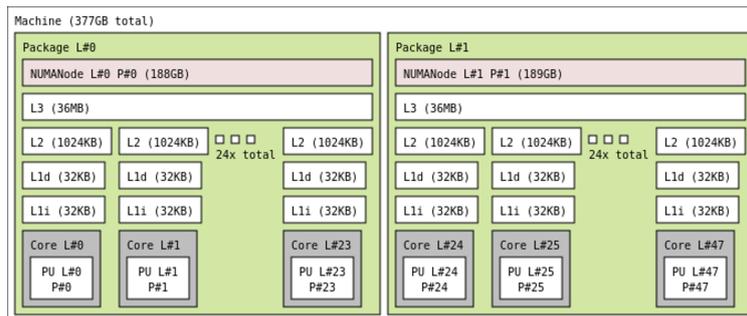


Figura 1. Arquitetura de um nó computacional Sequana no SDumont.

Tabela 1. Número total de processos MPI, havendo no máximo 48 ou 24 processos MPI por nó, respectivamente nas segunda e terceira colunas.

# nós	máximo de 48 MPI/nó	máximo de 24 MPI/nó
1	12	12
1	24	24
1	48	-
2	96	48
4	192	96
8	384	192
16	-	384

2. Metodologia

Um diagrama com a arquitetura de CPU multi-core Intel® Xeon® Gold 6252 disponível entre os nós computacionais Sequana do SDumont é mostrado na Figura 1. Cada um destes nós possuem 48 núcleos divididos em 2 sockets contendo 24 núcleos cada. A fim de obter uma análise do comportamento paralelo do código CSEM 3D, foram realizadas execuções paralelas no supercomputador Santos Dumont variando-se de 12 até 384 processos MPI[Gropp et al. 1999], usando OpenMPI v4.1.2 instalado com compilador GNU v9.3, organizadas e configuradas conforme mostrado na Tabela 1. Numa primeira configuração, são utilizados o máximo de 48 núcleos computacionais disponíveis entre os nós computacionais Sequana do SDumont. E em outra configuração, são empregados no máximo 24 núcleos por nó.

3. Resultados

Os tempos de execução e eficiência paralela podem ser visualizados na Figura 2, onde observa-se que o uso de todos os núcleos em cada nó não resultou necessariamente em um melhor desempenho da aplicação. Pelo contrário, invariavelmente o tempo de processamento foi menor ao se utilizar 24 processos MPI por nó, quando comparado com 48 processos MPI por nó. É necessário realizar-se uma investigação mais detalhada sobre as possíveis causas deste comportamento, tais como problemas relacionados à concorrência e contenção de acesso à memória, um maior número de *cache misses*, ou ainda a falta de vinculação de processos MPI em nível de núcleo/soquete (*core/socket binding*).

4. Comentários

O estudo de desempenho apresentado neste trabalho mostrou que, para a arquitetura disponível no SDumont, o código paralelo CSEM 3D requer uma investigação mais deta-

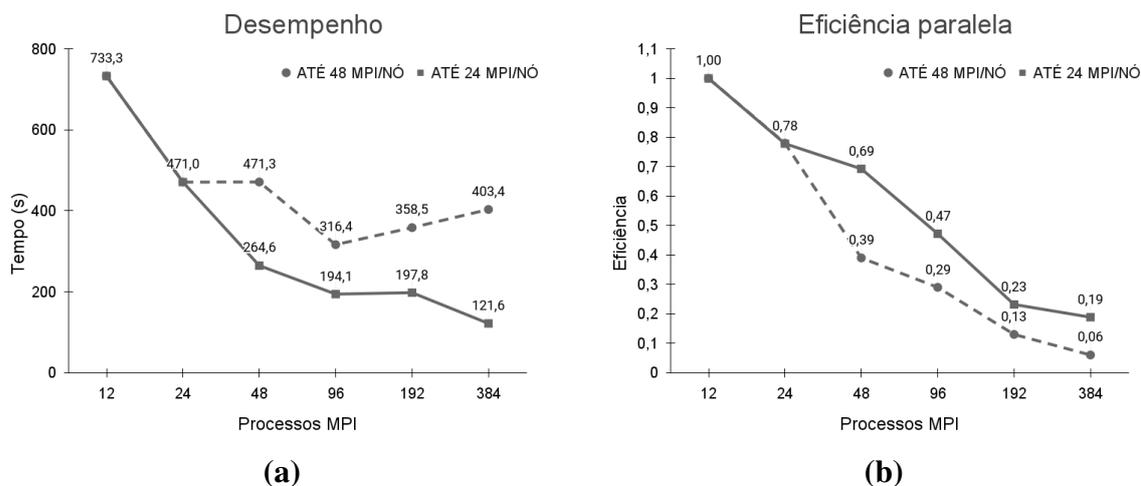


Figura 2. Tempo de processamento paralelo (a) e eficiência paralela (b) com até 384 processos MPI, usando no máximo 48 processos MPI por nó (linha tracejada), e no máximo 24 processos MPI por nó.

lhada para um melhor entendimento quanto a limitação observada na melhoria do desempenho paralelo ao se empregar todos os núcleos computacionais do nó. Pretende-se também verificar se este comportamento reproduz-se em outras arquiteturas computacionais de CPU multi-core, tais como a dos processadores AMD EPYC™. Uma outra abordagem a ser pesquisada é o emprego de paralelismo em mais de um nível, através do uso paralelização em memória compartilhada com OpenMP [Dagum and Menon 1998].

Agradecimentos

Os autores agradecem a Petróleo Brasileiro S.A. pelo apoio à pesquisa por meio do Termo de Colaboração número 0050.0121778.22.9, e também ao Laboratório Nacional de Computação Científica por fornecer recursos do supercomputador SDumont, que contribuíram para os resultados da pesquisa relatados neste artigo.

Referências

- Dagum, L. and Menon, R. (1998). OpenMP: An Industry-Standard API for Shared-Memory Programming. *IEEE Comput. Sci. Eng.*, 5(1):46–55.
- Gropp, W., Lusk, E., and Skjellum, A. (1999). *Using MPI: portable parallel programming with the message-passing interface*, volume 1. MIT press.
- Werthmüller, D., Rochlitz, R., Castillo-Reyes, O., and Heagy, L. (2021). Towards an open-source landscape for 3-D CSEM modelling. *Geophysical Journal International*, 227(1):644–659.
- Zerilli, A., Buonora, M. P., Menezes, P. T., Labruzzo, T., Marçal, A. J., and Silva Crepaldi, J. L. (2016). Broadband marine controlled-source electromagnetic for subsalt and around salt exploration. *Interpretation*, 4(4):T521–T531.
- Zerilli, A., Labruzzo, T., Zanzi, M., Buonora, M. P., Crepaldi, J. L., and Menezes, P. T. (2014). Broadband marine CSEM: New benefits for subsalt and around salt exploration. In *2014 SEG Annual Meeting*. OnePetro.