

# Implementação Paralela do Método $LTS_N$ para a Resolução da Equação de Transferência Radiativa em Ótica Hidrológica

Roberto P. Souto <sup>1</sup>  
Haroldo F. de Campos Velho <sup>2</sup>  
Stephan Stephany <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada (CAP/INPE)

<sup>2</sup> Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada (LAC/INPE)

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Caixa Postal 515, CEP 12245-970 São José dos Campos, SP - Brazil

{[roberto,haroldo,stephan]@lac.inpe.br}

## Resumo

Este trabalho faz parte de um projeto de doutoramento que visa a recuperação de perfis verticais de coeficientes de absorção e de espalhamento em águas naturais, a partir da intensidade de radiação emergente, medida imediatamente acima da água. Este é um caso típico de problema inverso, onde se deseja estimar as causas (no caso, esses coeficientes) a partir de um efeito (intensidade emergente) observado.

A equação de transferência radiativa (ETR) modela matematicamente a absorção, transmissão e espalhamento de fótons em um meio. Um problema inverso em transferência radiativa é usualmente resolvido através de uma metodologia implícita, sendo formulado como um problema de otimização não-linear. Tipicamente, a resolução do problema inverso exige centenas ou até mesmo milhares de avaliações da solução candidata, através da resolução da ETR. Este procedimento iterativo se repete até que uma função objetivo, representada pela diferença a quadrática entre os resultados do modelo e dos dados experimentais medidos, convirja para um valor suficientemente baixo.

Assim, a melhora do desempenho computacional da resolução da ETR foi a principal motivação deste trabalho, objetivando viabilizar a resolução de problemas inversos em Ótica Hidrológica. Foi então desenvolvida uma versão paralela do método  $LTS_N$  [BAR 93], o qual implementa a transformada de Laplace sobre as equações de ordenadas discretas. Em métodos de resolução da ETR baseados em ordenadas discretas, é realizada uma discretização espacial do domínio e também uma decomposição de Fourier da intensidade de radiação (radiâncias) [CHA 50], obtendo-se modos azimutais independentes.

A análise dos perfis de desempenho do código sequencial permitiu identificar as rotinas que demandam maior tempo de processamento, no caso, justamente a parte em que são calculados os modos azimutais, sendo a ETR resolvida, para cada um destes modos. Isso determinou a estratégia de paralelização para o método  $LTS_N$ : atribuir a cada processador um modo azimutal diferente, o que se mostrou bastante eficiente, conforme o desempenho obtido.

O código foi paralelizado utilizando um compilador otimizador Fortran 90 e a biblioteca de comunicação por troca de mensagens MPI (Message Passing Interface) [MPI 94], e executado numa máquina paralela de memória distribuída, um cluster de processadores com arquitetura IA-32. Esta máquina paralela possui uma rede de interconexão FastEthernet, que apresenta altas latências de comunicação mas, uma vez que o método  $LTS_N$  resolve a ETR de maneira independente para cada modo azimutal, obtém-se uma implementação paralela com boa granularidade e, conseqüentemente, *speed-ups* próximos ao linear, conforme mostra a Tabela 1, sendo a ETR resolvida para um caso teste típico relativo a Ótica Hidrológica.

Tabela 1: Tempo, *speed-up* e eficiência do código  $LTS_N$  paralelo

$p$	tempo(s)	<i>speed-up</i>	eficiência
1	39.36		
2	19.51	2.02	1.01
4	9.95	3.96	0.99
8	5.10	7.72	0.96

**Palavras-chave:** transferência radiativa, ordenadas discretas, processamento paralelo, MPI

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido da FAPESP por meio do projeto de pesquisa número 01/03100-9 (Paralelização de Aplicações em Física dos Materiais num Ambiente de Memória Distribuída). O autor Roberto P. Souto agradece a profa. Dra. Cynthia Feijó Segatto, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo auxílio no desenvolvimento do código multi-região do método  $LTS_N$ . O autor Roberto P. Souto agradece também ao pesquisador do LAC/INPE, Dr. Ezzat Selim Chalhoub, pela assistência dada na avaliação do código multi-região implementado. O mesmo autor agradece ainda ao CNPq pelo suporte financeiro durante este doutoramento, processo número 140217/2001-0.

## Referências

- [BAR 93] BARICHELO, L.B.; VILHENA, M.T. A general approach to one-group one-dimensional transport equation. **Kerntechnik**, v.58, n.3, p.182–184, Jun 1993.
- [CHA 50] CHANDRASEKHAR, S., **Radiative Transfer**, New York: Dover, 1950.
- [MPI 94] MPI FORUM. **The MPI message passing interface standard**. Knoxville: University of Tennessee, 1994.