

Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP  
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas - ICEB  
Departamento de Computação - DECOM

TerraME HPA (High Performance Architecture)

Aluno: Saulo Henrique Cabral Silva  
Matricula: 08.1.4137

Orientador: Joubert de Castro Lima

Co-orientador: Tiago Garcia de Senna Carneiro

Ouro Preto  
16 de abril de 2011

Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP  
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas - ICEB  
Departamento de Computação - DECOM

## TerraME HPA (High Performance Architecture)

Proposta de monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a conclusão da disciplina Monografia I (BCC390).

Aluno: Saulo Henrique Cabral Silva  
Matricula: 08.1.4137

Orientador: Joubert de Castro Lima

Co-orientador: Tiago Garcia de Senna Carneiro

Ouro Preto  
16 de abril de 2011

## Resumo

Em 2008 foi concluído um projeto CNPq PIBIC que implementou uma arquitetura de alto desempenho para o ambiente de modelagem Terra Modeling Environment - TerraME. O TerraME é um arquitetura de software destinada ao desenvolvimento de modelos dinâmicos espacialmente explícitos, que vem sendo utilizada, por exemplo, para a modelagem e simulação de processos de mudança de uso e cobertura do solo (LUCC) para toda região amazônica, no âmbito do projeto GEOMA, e para o desenvolvimento de modelos epidemiológicos junto à FIOCRUZ [3], como são os casos do controle da Dengue nas cidades do Rio de Janeiro e Recife. A arquitetura implementada em 2008 não permite que os dados de um modelo possam ser distribuídos, impondo restrições a modelos que demandam uma quantidade de recursos computacionais em termos de capacidade de armazenamento em memória, velocidade de processamento matemático ou gráfico, e velocidade de armazenamento e recuperação de dados em disco superior a capacidade do nó de processamento de um cluster de máquinas. Desta forma, este trabalho visa a utilização da plataforma de distribuição Message Passing Interface (MPI) para o desenvolvimento da segunda versão distribuída para a arquitetura TerraME.

*Palavras-chave:* MPI, TerraME, Modelos.

# **Sumário**

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>4</b>
3.1	Objetivo geral . . . . .	4
3.2	Objetivos específicos . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Cronograma de atividades</b>	<b>6</b>

## **Lista de Figuras**

1	Ambiente de desenvolvimento e suporte a modelagem ambiental TerraME.	1
---	--	---

## **Lista de Tabelas**

1	Cronograma de Atividades.	6
---	---------------------------	---

# 1 Introdução

Os sistemas Terrestres hoje estão submetidos em profundas mudanças cada vez mais intensas que vêm alterando seu funcionamento. Essas alterações têm trago um forte impacto direto na integridade do meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas. Diversos estudos apontam as ações humanas como à principal causa das alterações dos biomas.

A intensificação das mudanças ambientais causadas por processos antrópicos, cujos impactos são quase sempre negativos ao ambiente, exige que pesquisadores, empresários, e governos forneçam respostas aos desafios científicos e tecnológicos ligados ao entendimento do funcionamento dos sistemas terrestres, mas para isso eles precisam de ferramentas de modelagem que sejam confiáveis e capazes de capturar a dinâmica e os resultados das dinâmicas das ações da sociedade humana. Modelos computacionais que reproduzem de uma forma satisfatória o fenômeno sob estudo contribuem para o ganho do conhecimento científico no que diz respeito ao seu funcionamento e este conhecimento científico no que diz respeito ao seu funcionamento, este conhecimento pode servir como uma base inicial para o planejamento e definição de políticas públicas através da sua otimização e obtenção de melhores resultados (chamadas políticas saudáveis).

O *framework* TerraME é uma plataforma de domínio público para o desenvolvimento de modelos ambientais espacialmente explícitos integrados a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), desenvolvido pela parceria TerraLAB-UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Esta plataforma fornece uma linguagem de modelagem de alto nível que é utilizada para a descrição dos modelos/algoritmos e sua posterior integração aos bancos de dados geográficos.

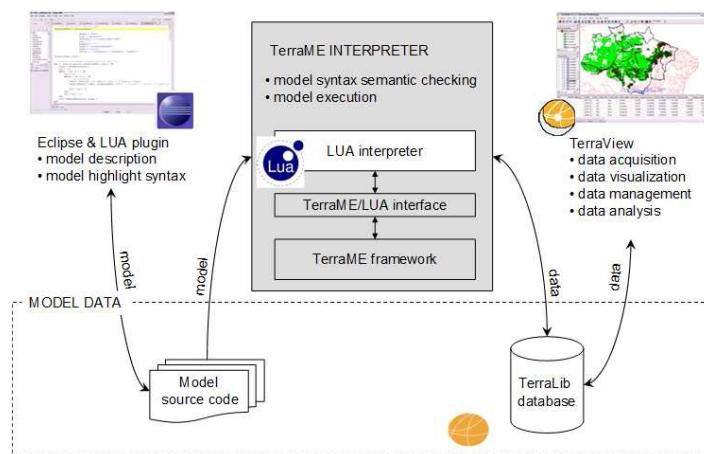


Figura 1: Ambiente de desenvolvimento e suporte a modelagem ambiental TerraME.

TerraME é um ambiente de desenvolvimento e suporte a modelagem ambiental espacial dinâmica que suporta modelos de computação baseados em autômatos celulares [5] e conceitos de autômatos celulares aninhados (Nested-CA) [1]. Um modelo espacial dinâmico é uma representação abstrata de um fenômeno que evolui no tempo e no espaço, baseado em descrições de entidades, processos e relações entre eles. Dessa forma, o TerraME está associado a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que fornece a

localização espacial dos dados. Os resultados destes modelos são mapas que mostram a distribuição espacial de um padrão ou de uma variável contínua. TerraME permite simulação em duas dimensões de espaços celulares regulares e irregulares.

Dentre os principais problemas entre as plataformas de simulação existentes hoje é, o tempo de execução do modelo e a quantidade de dados utilizada para a execução dos mesmos. Com o aumento das mudanças ambientais esses problemas tendem a piorar ainda mais, para tentar reproduzir a dinâmica dos fenômenos naturais, os modelos agora devem considerar mais variáveis, mais processos passam a interferir na dinâmica do fenômeno e mais dados são necessários. Com todas essas modificações os modelos passaram a ficar muito mais complexos, fazendo com que o espaço em disco utilizado seja muito grande e seu tempo de execução fique ainda maior. Para que o modelo seja executado em tempo hábil o modelador muitas vezes tem que omitir alguns pontos do modelo que prejudicam a fidelidade do modelo ao tentar expressar a dinâmica do fenômeno.

Com o aumento a demanda por plataformas de hardware e software que possam oferecer maior capacidade de processamento para a execução de aplicações associadas a problemas complexos do mundo real, a programação paralela e a abordagem distribuída [4] surgiram como técnicas que tem sido utilizadas para implementar tais aplicações nos casos em que um único processador requeira muito tempo para processá-las sequencialmente e em que o espaço de armazenamento seja insuficiente.

A proposta deste trabalho visa efetuar a parallelização do Kernel e utilizar a plataforma de distribuição Message Passing Interface (MPI) para o desenvolvimento de uma versão paralela e distribuída da arquitetura TerraME. Como resultado deste projeto, a plataforma TerraME ganhará robustez, pois poderá ser usado por modelos que demandam dados compartilhados ou distribuídos de forma transparente ao usuário final.

## **2 Justificativa**

É clara e reconhecida a importância do desenvolvimento de modelos ambientais baseados no impacto que eles podem causar no cotidiano da sociedade. A simulação de processos ambientais ou a simulação das interações humano-ambiente são instrumentos de pesquisa de impacto e predição. Mas processos de simulações de sistemas terrestres consomem uma enorme quantidade de recursos computacionais. Modelos ambientais devem ser avaliados em diversas escalas. Atualmente, os modelos ambientais de larga escalas desenvolvidos em TerraME demoram muito tempo para serem executados, mesmo utilizando a versão TerraME HPA proposta no projeto CNPq PI-BIC 2008. Este fato torna penosa a atividade de modelagem e, às vezes, a inviabiliza.

As pesquisas nesse sentido levarão ao desenvolvimento de novas técnicas computacionais e de modelagem que poderão ajudar a minimizar o impacto de desastres naturais ou epidemiológicos. Além de contribuir para a elaboração de prognósticos mais precisos acerca do comportamento das interações entre o homem e o ambiente.

Por fim, o trabalho está em conformidade com os desafios traçados pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC) 2006-2016 [2], sejam estes: (i) gestão da informação em grandes volumes de dados, (ii) modelagem computacional de sistemas complexos artificiais, naturais e sócio-culturais e da interação homem-natureza.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento e documentação de mais um núcleo distribuído para o TerraME, chamado TerraME HPA

O novo núcleo construído deverá produzir os seguintes subprodutos:

1. Uma nova versão distribuída do núcleo TerraME sobre a plataforma de distribuição Message Passing Interface (MPI) na linguagem de programação C++ (Grama, 2003) (Marc, 1998);
2. Documento de Especificação que identifica os principais requisitos a serem atendidos pela arquitetura TerraME HPA.
3. Documento de Desenvolvimento explicando as estruturas de dados, algoritmos, arquitetura de software e decisões de projeto envolvidas no desenvolvimento do TerraME HPA.
4. Guia de Programação descrevendo como sua Application Programming Interface (API) deve ser utilizada.
5. Tutoriais explicando sua instalação e utilização para o desenvolvimento de modelos dinâmicos espacialmente explícitos de larga escala.
6. Relatórios contendo análises de desempenho da utilização do TerraME HPA II na execução de modelos reais, entre eles, modelos que não podem ser eficientemente executados na atual versão de alto desempenho do TerraME.

A principal meta deste projeto é reduzir, tanto quanto possível, o tempo de execução de modelos espaciais dinâmicos desenvolvidos através do uso do ambiente de modelagem TerraME.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Estender o núcleo do TerraME, permitindo que os dados de um modelo possam estar compartilhados ou distribuídos.
- Contribuir para a consolidação das linhas de pesquisa em Modelagem de Sistemas Terrestres, Banco de Dados e Computação de Alto Desempenho do Departamento de Computação da UFOP.

## 4 Metodologia

Será utilizada a metodologia de desenvolvimento de software em espiral com prototipação de realize e versões. Assim, as etapas de concepção, projeto, implementação, teste e documentação serão executadas de forma cíclica, e cada ciclo uma nova versão documentada do aplicativo para planejamento de rotas será obtida.

As seguintes etapas devem ser realizadas para o desenvolvimento.

1. **Concepção de software:** Nesta fase, são definidas as questões que a arquitetura TerraME HPA deve responder. Os trabalhos correlatos serão investigados. As informações disponíveis serão analisadas na esperança de que sejam identificados todos os requisitos de software da arquitetura. O documento de especificação será elaborado nesta etapa.
2. **Projeto de software:** Nesta etapa, serão projetados as estruturas de dados, os algoritmos, as interfaces com o usuário que permitirão ao modelador simular em tempo razoável modelos ambientais em larga escala. Nesta etapa, também será projetada a arquitetura de software do sistema TerraME HPA II. Os diagramas de classe, de sequência e de transição de estados, da metodologia UML serão utilizados para a documentação das decisões de projeto. O documento de projeto será elaborado nesta fase.
3. **Implementação de software:** Nesta etapa, cada módulo de software projeto na fase etapa anterior será implementado na linguagem de programação C++. O código fonte da arquitetura TerraME HPA II será documentado através do sistema de documentação DOXYGEN ou similar.
4. **Teste de software:** Nesta etapa, cada módulo de software implementado na etapa anterior será avaliado quanto sua corretude e desempenho de forma separa. O uso integrados desses componentes será avaliado através sua aplicação para a simulações de modelos ambientais de larga escala e em múltiplas escalas. Os relatórios de desempenho da arquitetura deverão ser elaborados durante esta etapa.
5. **Documentação de software:** Nesta etapa, são escritos artigos e relatórios sobre os avanços científicos e tecnológicos gerados pela pesquisa, o manual do usuário, o guia de programação, e os tutoriais da arquitetura TerraME HPA II baseada em dados distribuídos.

## 5 Cronograma de atividades

Na Tabela 1, Atividades a serem realizadas para a conclusão do trabalho.

<b>Primeira metade das Atividades</b>	<b>Maç</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>
Revisão Bibliográfica	X				
Estudo aprofundado do ambiente	X	X			
Estudo aprofundado da Biblioteca	X	X			
Elaboração do projeto do sistema			X	X	
Implementação usando MPI				X	X
<b>Segunda metade das Atividades</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
Implementação usando MPI	X	X			
Implementar a interface do sistema	X	X			
Teste comparativo de rendimento		X			
Teste do módulo		X			
Teste integrado do sistema		X	X		
Elaboração da documentação do sistema			X		
Elaboração do Manual do Usuário:				X	X
Redigir a Monografia			X	X	X
Apresentação do Trabalho					X

Tabela 1: Cronograma de Atividades.

## Referências

- [1] Tiago G.S. Carneiro. Nested-ca: a foundation for multiscale modeling of land use and land change.
- [2] A. P. L. Carvalho. Grandes desafios de pesquisa em ciÊncia da computaÃ§Ã£o no brasil. march 2006.
- [3] MinistÃ©rio da SaÃºde. Abordagens espaciais na saÃºde pÃ³blica. 2006.
- [4] A. et al. Grama. Introduction to parallel computing. 2003.
- [5] S. Wolfram. New kind of science.