

**ESTUDO DAS FLUTUAÇÕES DE AMPLITUDES  
SIMULADOS A PARTIR DA EQUAÇÃO KPZ  
EM AMBIENTE GPU/CUDA**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

**Pedro Henrique Alves Batista (IFSP-CJO, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: pedro.pesquisapb@gmail.com**

**Reinaldo Roberto Rosa (LAC/CTE/INPE, Orientador)  
E-mail: rrosa.inpe@gmail.com**

**COLABORADORES**

**Paulo Giovani (IFSP-CJO)  
Dr. Antonio Ferreira (IF-UFBA/LAPO)  
Dra. Mariana Baroni (IFSP-SP)**

**SUMÁRIO**

1. Introdução
2. Resultados obtidos
3. Conclusão e Continuidade do Projeto

**Julho de 2015**

## Introdução

No primeiro ano do projeto estudos teóricos e práticos foram desenvolvidos conforme os objetivos traçados no projeto e apresentados no relatório anterior. O estudo comparativo entre a Equação KPZ-2d e os Mapas Acoplados Caóticos (CML) foi realizado como parte principal das atividades desenvolvidas no segundo semestre. Deste modo, a o estudo da paralelização dos algoritmos para solução da KPZ-2d e CML's foi realizado dentro do paradigma da computação híbrida CPU/GPU. A estratégia utilizada foi testar a dificuldade de paralelização em função do tamanho das grades numéricas para ambos os casos.

Equação KPZ-2d:

Utilizamos como protótipo o algoritmo, baseado na técnica de diferenças finitas, escrito em Matlab [1]. Analisamos soluções da KPZ-2d nos tamanhos 12x12 até 48x48 [2] em ambiente sequencial [3] dentro do paradigma da Lei de Amdahl [2].

Grade de Mapas Acoplados (Coupled Map Lattices-CML):

Iniciamos o estudo de CML caótica [4,5] baseada na equação logística  $X_{n+1} = kX_n (1 - X_n)$ . A dificuldade da sua paralelização CPU/GPU foi analisada em comparação com as dificuldades encontradas para a paralelização da KPZ-2D.

Metodologia:

A metodologia adotada foi aquela baseada na aplicação da Lei de Amdahl, que permite calcular a porcentagem a ser paralelizada em função do speedup ( $S_p$ ) e da quantidade de processadores P em paralelo:

$$\beta(p) = [(1/S_p) - 1] / [(1/P) - 1] \quad (1)$$

$$\text{com } S_p = T_s/T_p \quad (2)$$

Os valores de entrada considerados, mostrados na tabela abaixo, foram obtidos, apenas para a KPZ-2d uma vez que a implementação do CML foi remanejada para a fase de renovação do projeto. Esses valores referem-se ao tempo de solução da KPZ-2d relacionados aos resultados da simulação de estruturas porosas tipo silício poroso [3].

KPZ-2d (50)	T <sub>s</sub> (s)
12x12	201,2
24x24	600,8
48x48	1.926,6

Tabela 1: Tempo de execução (T<sub>s</sub>) em arquitetura sequencial do algoritmo kpz2d.m em função do tamanho de grade, considerando 50 passos de tempo.

## 2. Resultados obtidos

Resultado Prático Principal:

Considerando a placa da NVIDIA K-20 com 2.496 núcleos estipulamos um valor de *Speedup* realista com  $T_p = T_s / 8$ . Reduzindo assim, por exemplo, um tempo de execução de 32,11 minutos para 4,0 minutos, considerando o caso mais complexo (48x48) com  $P=2304$  para o paradigma 1 elemento por núcleo.

Na tabela abaixo, apresentamos os valores das respectivas taxas de paralelização para a solução da equação KPZ-2d, principal resultado desta primeira fase do projeto.

KPZ-2d (50) P	$\beta$ [%]-GPU	$\alpha$ [%] -CPU
144	87,50	12,50
576	87,65	12,35
2304	88,38	11,62

Uma vez que a componente de integração (Runge-Kutta) demandará, de acordo com a teoria [2], um mínimo de 40% do código em arquitetura sequencial, conclui-se que, dentro do paradigma mais simples de *1 elemento por núcleo*, a sua implementação em ambiente híbrido é inviável.

Principais Resultados Acadêmicos:

- Familiarização com métodos de solução numérica de equações diferenciais parciais
- Familiarização com o algoritmo para solução da KPZ-2d via método de diferenças finitas.
- Familiarização com os ambientes de computação híbrida CPU/GPU.
- Familiarização com CML's caóticos
- Familiarização com aplicações da KPZ-2d e CML.

## 3. Conclusão e Continuidade do Projeto

Os resultados obtidos mostraram, do ponto de vista teórico, o grau de dificuldade da implementação da KPZ-2D em ambiente híbrido CPU/GPU indicando, dessa forma, a necessidade de considerarmos, do ponto de vista prático, a aplicação da CML como modelo mais simples para a arquitetura paralela híbrida. Portanto, na fase de implementação prevista na continuidade deste projeto, o principal objetivo será estudar e implementar o modelo CML em ambiente híbrido CPU/GPU. Além disso, com base nos experimentos numéricos a serem realizados com o algoritmo CML híbrido, iremos investigar possíveis aplicações na simulação de crescimento de estruturas em diversos sistemas físicos discutidos no projeto original.

## Referências

- [1] Baroni, M.P.M.A., Análise matemático-computacional de superfícies irregulares: aplicações para materiais ativos nanoestruturados. Dissertação de Mestrado, INPE-14216-TDI/1117 (2009).
- [2] J. Zhu, Solving Partial Differential Equations on Parallel Computers, World Scientific (1994).
- [3] Rosa, R.R., M.P.M.A. Baroni, G.T. Zaniboni, A. Ferreira da Silva, L.S. Roman, J. Pontes, M.J.A. Bolzan. Structural complexity of disordered surfaces: Analyzing the porous silicon SFM patterns. *Physica A* 386 (2007):666.
- [4] Ramos, F.M., Rosa, R.R., Neto, C.R., Zanandrea, A. Generalized complex entropic form for gradient pattern analysis of spatio-temporal dynamics, *Physica A* 283 (1-2) (2000):171.
- [5] Kaneko, Kunihiko. "Overview of Coupled Map Lattices." *Chaos* 2, Num3(1992): 279.

Parecer do Orientador: