

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC		
(    ) PRÉ-PROJETO	(    ) PROJETO	ANO/SEMESTRE:

**GERAÇÃO PROCEDURAL DE TERRENOS COMPLEXOS E NATURAIS  
UTILIZANDO GPU**

Alex Seródio Gonçalves

Dalton Solano dos Reis

## 1 INTRODUÇÃO

A forma como construímos nossas cidades e sociedades ao longo da história está diretamente relacionada com o relevo das paisagens ao nosso redor. Essas paisagens estão em constante mudança, sendo influenciadas constantemente não apenas por forças naturais, mas também por forças econômicas e culturais (PLIENINGER, 2015).

Algumas dessas mudanças podem se mostrar complexas de serem analisadas ou recriadas no mundo real. Nesses casos, simulações computacionais possibilitam a criação e validação de modelos que representam tais cenários, permitindo assim a execução de experimentos, análise dos resultados e validação de teorias em um ambiente controlado (HEERMANN, 1990, p. 8). Tais simulações podem ser utilizadas para analisar os processos naturais e sociais causadores de mudanças na paisagem, sendo necessário, porém, a utilização de um cenário adequado à simulação.

Para garantir a utilização de terrenos naturais e ainda possibilitar uma variedade de cenários diferentes para as simulações, é possível utilizar terrenos gerados de forma procedural através de modelos físicos. Esses modelos realizam a execução de algoritmos de erosão em várias iterações consecutivas até que o nível de erosão do terreno virtual se equipare ao nível de erosão de um terreno real, exposto a tais processos constantemente durante sua formação (OLSEN, 2004). Esses algoritmos, porém, exigem um poder de processamento considerável para atingir resultados realistas, tornando em muitos casos praticamente impossível sua execução em tempo real (MEI, 2007, p. 47).

Com o constante desenvolvimento de hardware, a utilização de GPU (Graphic Processing Unit) para a resolução de problemas gerais vem se tornando cada vez mais viável. Dessa forma seria possível utilizar o poder de paralelismo de GPUs modernas para realizar o processamento dos algoritmos de erosão em tempo real e ainda preservar o nível de realismo necessário para simulações (MEI, 2007, p. 48).

Diante do apresentado, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta para geração procedural de terrenos naturais utilizando modelos físicos. Para tal, apresenta também uma versão otimizada em GPU dos algoritmos de erosão de terreno utilizados por Neto (2017), para que seja possível executá-los em tempo real em várias iterações consecutivas durante a geração do terreno, a fim de atingir terrenos geologicamente naturais.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta para geração de terrenos naturais realistas adequados para simulações.

Os objetivos específicos são:

- a) desenvolver um algoritmo para geração de terrenos naturais;
- b) realizar o processamento do algoritmo em tempo real com GPU;
- c) disponibilizar uma interface para visualização do terreno gerado;
- d) possibilitar a exportação do terreno gerado.

## 2 TRABALHOS CORRELATOS

A seguir são apresentados três trabalhos que possuem características semelhantes aos principais objetivos do estudo proposto. O primeiro apresenta um método para sintetizar terrenos fractais de aparência natural utilizando algoritmos procedurais e de erosão (OLSEN, 2014), o segundo é um simulador de dinâmica de relevos que utiliza algoritmos de erosão térmica e erosão hídrica (NETO, 2017) e o terceiro é um framework para modelagem de terrenos complexos com saliências, arcos e cavernas (PEYTAVIE, 2009).

### 2.1 REALTIME PROCEDURAL TERRAIN GENERATION

Olsen (2014) apresenta algumas técnicas para geração procedural e erosão de superfícies, que são então utilizadas em conjunto para a geração de terrenos fractais com uma aparência natural, com o objetivo de serem adequados para utilização em jogos. A implementação foi realizada utilizando a linguagem de programação Java e o mapa de altura dos terrenos gerados foi representado utilizando uma matriz bidimensional quadrada de dimensões 512 x 512, onde a altura de cada célula é representada por um número real entre 0 e 1 (OLSEN, 2014, p. 1).

O processo apresentado por Olsen (2014) pode ser dividido em duas etapas. A primeira consiste na geração do terreno base através da utilização de duas técnicas de geração procedural, sendo elas o *diamond-square* e diagrama de Voronoy, ambos algoritmos para geração de ruídos (OLSEN, 2014, p. 2-4). A segunda etapa consiste em tornar o terreno base recém criado mais natural submetendo-o à algoritmos de erosão térmica, que simula os materiais dos pontos mais altos se soltando e deslizando as encostas até o fundo; e erosão hidráulica, que simula os materiais do terreno sendo dissolvidos e carregados por água corrente e sendo depositados em

outro local (OLSEN, 2014, p. 5-11). A Figura 1 apresenta um terreno gerado a partir da execução dos processos descritos acima.

Figura 1 – Terreno gerado através das técnicas de geração procedural e erosão



Fonte: Olsen (2014, p. 1)

Além disso, também é apresentado no artigo algumas análises de performance dos algoritmos de erosão, as quais são utilizadas para propor uma nova versão otimizada dos algoritmos de erosão térmica e hidráulica, onde a qualidade da simulação (do ponto de vista físico) é um pouco prejudicada em troca que um ganho considerável na velocidade de processamento (OLSEN, 2014, p. 5-11).

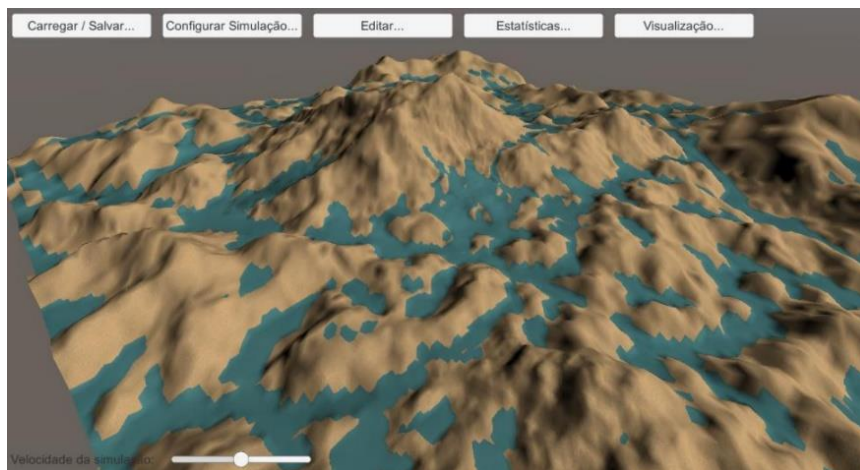
Por fim, Olsen (2014) conclui que as otimizações realizadas no algoritmo de erosão térmica fizeram com que ele se tornasse rápido o suficiente para ser utilizado em um processamento em tempo real, porém resultando em uma redução na qualidade do terreno. Já no caso da versão otimizada do algoritmo de erosão hidráulica, a qualidade do terreno gerado se mostrou maior, porém o tempo de execução continuou sendo muito lento para utilização em tempo real. Ainda assim, os terrenos gerados mostraram-se adequados ao objetivo principal de serem utilizados em jogos (OLSEN, 2014, p. 19).

## 2.2 SIMULADOR DE DINÂMICA DO RELEVO

Neto (2017) descreve a ferramenta desenvolvida como sendo “[...] um modelo de simulação para deslizamentos de terra [...]” (NETO, 2017, p. 14). A ferramenta foi desenvolvida utilizando o motor gráfico Unity para visualização da simulação e a linguagem de programação C# para criação dos algoritmos. Assim como Olsen (2014), a estrutura de dados utilizada para representar o terreno foi uma matriz bidimensional quadrada na qual o valor de cada célula

representa a altura do terreno naquela posição. A Figura 1 apresenta a tela principal da aplicação durante a simulação de erosão hidráulica.

Figura 1 – Tela principal da aplicação durante simulação de erosão hidráulica



Fonte: Neto (2017, p. 40)

Antes da simulação começar o usuário deve carregar um relevo a partir de um mapa de altura (*heightmap*) já existente de um terreno (NETO, 2017, p. 48), podendo escolher o tipo de superfície do terreno para diferentes áreas do terreno. É possível escolher entre as superfícies solo exposto, grama, floresta e concreto, sendo que o tipo da superfície impacta na execução da simulação (NETO, 2017, p. 42).

Ainda antes de iniciar a simulação é possível selecionar quais algoritmos de erosão serão utilizados, podendo escolher entre erosão térmica e erosão hidráulica (ou ambos) e ainda configurar algumas variáveis para cada simulação, sendo elas *inclinação máxima* e *fator de alteração* para a erosão térmica e *intensidade de chuva*, *intervalo entre chuvas*, *fator de evaporação* e *fator de solubilidade* para a erosão hidráulica (NETO, 2017, p. 49-50).

Uma vez que a simulação foi iniciada, é possível acompanhar visualmente as alterações no terreno em tempo real. Para informações mais detalhadas sobre o estado atual da paisagem é possível acessar a tela de estatísticas, onde é fornecido várias informações sobre o solo, umidade, altitude, entre outras (NETO, 2017, p. 45). Também é possível selecionar uma visão por mapa de calor, podendo escolher entre mapas de calor de profundidade do solo, profundidade da água, umidade do solo e inclinação (NETO, 2017, p. 46)

Neto (2017) conclui que a simulação desenvolvida apresenta uma visualização condizente com a realidade, mesmo não sendo capaz de oferecer uma representação precisa dos processos realizados. Além disso, relata também que mesmo com o motor gráfico Unity apresentando facilidades no desenvolvimento da ferramenta, a plataforma não se mostrou

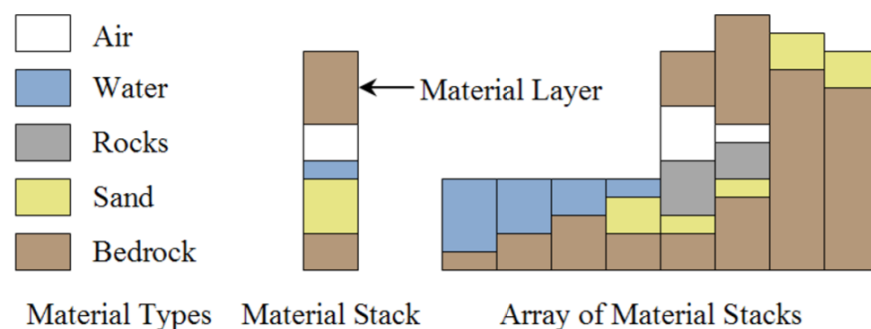
otimizada para trabalhar com atualizações constantes no relevo, o que resultou em uma perda de performance durante as simulações (NETO, 2017, p. 57-58).

### 2.3 ARCHES

Os trabalhos de Olsen (2014) e Neto (2017) apresentados até então concentram-se apenas nas características mais amplas do terreno, como montanhas e vales, sendo incapazes de gerar formações como cavernas e arcos. Peytavie (2009), por outro lado, apresenta um framework focado principalmente na modelagem de formações rochosas mais complexas, como cavernas, arcos, saliências e penhascos (PEYTAVIE, 2009).

Para conseguir modelar essas formações rochosas, Peytavie (2009) utiliza uma forma diferente de representar o terreno gerado. Ao invés de possuir uma matriz bidimensional onde a altura de cada ponto é representada por um valor escalar (como nos dois trabalhos anteriores), é utilizado uma estrutura de camadas em cada posição da matriz para representar os vários materiais existentes naquele ponto, sendo que cada material é caracterizado por sua espessura e tipo, podendo ser ar, água, areia, rocha e pedra. Dessa forma, torna-se possível representar uma caverna simplesmente inserindo uma camada de ar entre duas camadas de rocha (PEYTAVIE, 2009, p. 3), como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Demonstração dos tipos de materiais, camadas e formação de uma caverna



Fonte: Peytavie (2009, p. 3)

Ao invés de trabalhar com geração de terrenos do zero, o framework proposto fornece ferramentas de edição de terreno que permitem que o usuário modele as características principais do terreno através de dois modelos diferentes: um modelo volumétrico discreto contendo várias camadas de diferentes materiais e um modelo implícito, que representa a superfície do relevo (PEYTAVIE, 2009, p. 2).

Após a modelagem inicial, o terreno é submetido a um algoritmo de simulação de estabilização de materiais, no qual materiais granulares como areia, pedra e água interagem uns com os outros e se misturam a fim de criar um cenário realista (PEYTAVIE, 2009, p. 4). Além

disso, a etapa de edição do terreno também engloba ferramentas que possuem algoritmos para criar rachaduras ou redes de túneis, realizar a erosão de superfícies e criar pilhas de rochas de forma procedural (PEYTAVIE, 2009, p. 5-8).

### **NÃO CONSIDERAR A PARTIR DAQUI (ESTÁ INCOMPLETO)**

## **3 PROPOSTA DA FERRAMENTA**

Nessa seção será apresentada a justificativa para a realização da pesquisa proposta, assim como os requisitos principais da ferramenta a ser desenvolvida e a metodologia utilizada durante a realização da pesquisa.

### **3.1 JUSTIFICATIVA**

O Quadro 1 abaixo apresenta uma comparação entre os trabalhos correlatos apresentados anteriormente na seção 2.

Características \ correlatos	Olsen (2014)	Neto (2017)	Peytavie (2009)
tipo de ferramenta	geração	simulação	modelagem
utiliza algoritmos de erosão	Sim	Sim	Sim
utiliza algoritmos de geração procedural	Sim	Não	Sim
utiliza GPU	Não	Não	Não
permite visualização do terreno	Sim	Sim	Sim

No Quadro 1 é possível observar que

### **3.2 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO**

[Devem ser descritos textualmente os requisitos do sistema a ser desenvolvido, destacando o que deve fazer e ressaltando as principais características que deve ter, tendo como base o quadro elaborado na seção anterior. Os requisitos devem ser identificados como Requisitos Funcionais (RF) e Requisitos Não Funcionais (RNF).]

### **3.3 METODOLOGIA**

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- levantamento bibliográfico: realizar levantamento bibliográfico sobre formação natural de relevos, técnicas para geração de terrenos virtuais realistas e processamento paralelo em GPU;

- b) elicitação de requisitos: detalhar e reavaliar os requisitos de acordo com o levantamento bibliográfico;
- c) especificação da solução: formalizar as funcionalidades da ferramenta através dos diagramas da Unified Modeling Language (UML), utilizando a ferramenta Draw.io;
- d) implementação da ferramenta: implementar a ferramenta proposta utilizando a linguagem de programação C# e o motor gráfico Unity;
- e) validação: validação dos resultados alcançados através de testes de performance para testar a velocidade dos algoritmos implementados e análise dos terrenos gerados por um profissional da área para validar o realismo dos mesmos.

As etapas serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 2.

Quadro 2 - Cronograma

etapas / quinzenas	ano									
	mês.		mês.		mês.		mês.		mês.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
levantamento bibliográfico										
elicitação de requisitos										
especificação da solução										
implementação da ferramenta										
validação										

Fonte: elaborado pelo autor.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para permitir a realização deste trabalho, a revisão bibliográfica contemplará os assuntos de criação de terrenos procedurais através da combinação das técnicas de Fournier (1982) e Ebert (2003), apresentadas por Olsen (2014), juntamente com os algoritmos de erosão térmica e hidráulica implementados por Neto (2017) que passarão por um processo de otimização em GPU, seguindo os guias de programação em GPU de Pharr (2005) e Nguyen (2007).

## REFERÊNCIAS

Heermann, 1990 - Computer Simulation Methods in Theoretical Physics:  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-75448-7#about>

Matt Pharr, Randima Fernando. GPU Gems 2: Programming Techniques for High-Performance Graphics and General-Purpose Computation. 13 de março de 2005.  
<https://developer.nvidia.com/gpugems/gpugems2/copyright>

Hubert Nguyen. GPU Gems 3. 12 de agosto de 2007.  
<https://developer.nvidia.com/gpugems/gpugems3/contributors>



Xing Mei, Philippe Decaudin, Bao-Gang Hu. Fast Hydraulic Erosion Simulation and Visualization on GPU. PG '07 - 15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, Oct 2007, Maui, United States. pp.47-56, 10.1109/PG.2007.15. inria-00402079

Alan Fournier, Don Fussell and Loren Carpenter: Computer Rendering of Stochastic Models. Communications of the ACM, Volume 25, Issue 6 (June 1982).

David S. Ebert, F. Kenton Musgrave, Darwyn Peachey, Ken Perlin and Steven Worley: *Texturing and Modeling: A Procedural Approach* (Third Edition). Morgan Kaufmann Publishers, 2003.

[Só podem ser inseridas nas referências os documentos citados no projeto. Todos os documentos citados obrigatoriamente têm que estar inseridos nas referências.

As referências deverão ser apresentadas em ordem alfabética, de acordo com as normas da ABNT. Como padrão, o nome do autor deve ser apresentado da seguinte forma: sobrenome com todas as letras maiúsculas; primeiro nome por extenso com a primeira letra maiúscula e as demais em minúscula; os outros nomes abreviados (letra em maiúscula seguida de ponto).]

## ASSINATURAS

(Atenção: todas as folhas devem estar rubricadas)

Assinatura do(a) Aluno(a): \_\_\_\_\_

Assinatura do(a) Orientador(a): \_\_\_\_\_

Assinatura do(a) Coorientador(a) (se houver): \_\_\_\_\_

Observações do orientador em relação a itens não atendidos do pré-projeto (se houver):

## FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO – PROFESSOR TCC I

Acadêmico(a): \_\_\_\_\_

Avaliador(a): \_\_\_\_\_

ASPECTOS AVALIADOS <sup>1</sup>		atende	atende parcialmente	não atende
ASPECTOS TÉCNICOS	1. INTRODUÇÃO O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado?			
	O problema está claramente formulado?			
	2. OBJETIVOS O objetivo principal está claramente definido e é passível de ser alcançado?			
	Os objetivos específicos são coerentes com o objetivo principal?			
	3. TRABALHOS CORRELATOS São apresentados trabalhos correlatos, bem como descritas as principais funcionalidades e os pontos fortes e fracos?			
	4. JUSTIFICATIVA Foi apresentado e discutido um quadro relacionando os trabalhos correlatos e suas principais funcionalidades com a proposta apresentada?			
	São apresentados argumentos científicos, técnicos ou metodológicos que justificam a proposta?			
	São apresentadas as contribuições teóricas, práticas ou sociais que justificam a proposta?			
	5. REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO Os requisitos funcionais e não funcionais foram claramente descritos?			
	6. METODOLOGIA Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC?			
	Os métodos, recursos e o cronograma estão devidamente apresentados e são compatíveis com a metodologia proposta?			
	7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (atenção para a diferença de conteúdo entre projeto e pré-projeto) Os assuntos apresentados são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	As referências contemplam adequadamente os assuntos abordados (são indicadas obras atualizadas e as mais importantes da área)?			
	8. LINGUAGEM USADA (redação) O texto completo é coerente e redigido corretamente em língua portuguesa, usando linguagem formal/científica?			
	A exposição do assunto é ordenada (as ideias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)?			
	9. ORGANIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO GRÁFICA DO TEXTO A organização e apresentação dos capítulos, seções, subseções e parágrafos estão de acordo com o modelo estabelecido?			
	10. ILUSTRAÇÕES (figuras, quadros, tabelas) As ilustrações são legíveis e obedecem às normas da ABNT?			
	11. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES As referências obedecem às normas da ABNT?			
	As citações obedecem às normas da ABNT?			
Todos os documentos citados foram referenciados e vice-versa, isto é, as citações e referências são consistentes?				

### PARECER – PROFESSOR DE TCC I OU COORDENADOR DE TCC (PREENCHER APENAS NO PROJETO):

O projeto de TCC será reprovado se:

- qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;
- pelo menos 4 (quatro) itens dos **ASPECTOS TÉCNICOS** tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE; ou
- pelo menos 4 (quatro) itens dos **ASPECTOS METODOLÓGICOS** tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.

**PARECER:** (    ) APROVADO (    ) REPROVADO

<sup>1</sup> Quando o avaliador marcar algum item como atende parcialmente ou não atende, deve obrigatoriamente indicar os motivos no texto, para que o aluno saiba o porquê da avaliação.

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Quando o avaliador marcar algum item como atende parcialmente ou não atende, deve obrigatoriamente indicar os motivos no texto, para que o aluno saiba o porquê da avaliação.

## FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO – PROFESSOR AVALIADOR

Acadêmico(a): \_\_\_\_\_

Avaliador(a): \_\_\_\_\_

ASPECTOS AVALIADOS <sup>1</sup>		atende	atende parcialmente	não atende
ASPECTOS TÉCNICOS	1. INTRODUÇÃO O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado?			
	O problema está claramente formulado?			
	2. OBJETIVOS O objetivo principal está claramente definido e é passível de ser alcançado?			
	Os objetivos específicos são coerentes com o objetivo principal?			
	3. TRABALHOS CORRELATOS São apresentados trabalhos correlatos, bem como descritas as principais funcionalidades e os pontos fortes e fracos?			
	4. JUSTIFICATIVA Foi apresentado e discutido um quadro relacionando os trabalhos correlatos e suas principais funcionalidades com a proposta apresentada?			
	São apresentados argumentos científicos, técnicos ou metodológicos que justificam a proposta?			
	São apresentadas as contribuições teóricas, práticas ou sociais que justificam a proposta?			
	5. REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO Os requisitos funcionais e não funcionais foram claramente descritos?			
	6. METODOLOGIA Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC?			
	Os métodos, recursos e o cronograma estão devidamente apresentados e são compatíveis com a metodologia proposta?			
	7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (atenção para a diferença de conteúdo entre projeto e pré-projeto) Os assuntos apresentados são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	As referências contemplam adequadamente os assuntos abordados (são indicadas obras atualizadas e as mais importantes da área)?			
	8. LINGUAGEM USADA (redação) O texto completo é coerente e redigido corretamente em língua portuguesa, usando linguagem formal/científica?			
	A exposição do assunto é ordenada (as ideias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)?			

### PARECER – PROFESSOR AVALIADOR: (PREENCHER APENAS NO PROJETO)

O projeto de TCC ser deverá ser revisado, isto é, necessita de complementação, se:

- qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;
- pelo menos **5 (cinco)** tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.

**PARECER:** (    ) APROVADO (    ) REPROVADO

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Quando o avaliador marcar algum item como atende parcialmente ou não atende, deve obrigatoriamente indicar os motivos no texto, para que o aluno saiba o porquê da avaliação.