

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

JULIANO KLOECKNER

**Síntese e Customização de Terrenos a partir  
de Modelos Digitais de Elevação**

Trabalho de Graduação.

Prof. Dr. Marcelo Walter  
Orientador

Porto Alegre, dezembro de 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitora de Graduação: Profa. Valquiria Link Bassani

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenador do CIC: Prof. João César Netto

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde para continuar perseverante.

À minha filha Valentina... Perdão pelas horas despendidas em frente ao computador.

À minha esposa Paula, por todos esses anos de incondicional apoio e paciência.

À minha mãe Eliane, ao meu pai João (*in memoriam*) pelo MSX.

Ao meu orientador prof. Marcelo, pela atenção e dedicação ao longo do último ano.

Ao Instituto de Informática e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino público, gratuito e de qualidade.

## SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	9
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Estrutura do texto .....	14
2 TRABALHOS RELACIONADOS .....	15
3 IMPLEMENTAÇÃO .....	20
3.1 Extração das Características .....	21
3.1.1 Perfil de Reconhecimento.....	24
3.1.2 Conexão dos Pixels.....	25
3.1.3 Quebra dos Polígonos.....	26
3.1.4 Redução dos Ramos .....	27
3.1.5 Redução de Comprimento dos Ramos .....	28
3.2 Feature-Based Patch Matching and Placement .....	30
3.2.1 Feature Patch Matching and Placement.....	31
3.2.1.1 Branch Points.....	32
3.2.1.2 Endpoints.....	33
3.2.1.3 Paths Features .....	33
3.2.2 Nonfeature Patch Placement.....	36
3.3 Junção dos Fragmentos.....	37
3.4 Ambiente de Desenvolvimento .....	39
4 RESULTADOS .....	41
4.1 Resultados da Síntese de Terrenos .....	41
5 CONCLUSÃO.....	52



REFERÊNCIAS.....	53
------------------	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
ASI	<i>Agenzia Spaziale Italiana</i>
BSD	<i>Berkeley Software Distribution</i>
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DLR	<i>Deutschen zentrums für Luft und Raumfahrt</i>
GCC	<i>GNU Compiler Collection</i>
GeoTIFF	<i>Georeferenced Tagged Image File Format</i>
GNU	<i>GNU is Not Unix</i>
GUI	<i>Grafical User Interface</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
MinGW	<i>Minimalist GNU for Windows</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
OPENCV	<i>Open Computer Vision Library</i>
PPA	<i>Profile recognition and Polygon breaking Algorithm</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SSD	<i>Sum of Squared Differences)</i>
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1: DEM; Esboço; Resultado da síntese; Render; Detalhe do terreno. ....	13
Fig. 2.1: Malha poligonal; Superfície de Bézier. ....	15
Fig. 2.2: Deslocamento aleatório de pontos (Fournier). ....	16
Fig. 2.3: Representação em wireframe do terreno modelado. ....	16
Fig. 2.4: Terreno do usuário; DEM; Resultado da aplicação do método. ....	17
Fig. 3.1: Diagrama do processo. ....	20
Fig. 3.2: Profile recognition and Polygon breaking (PPA). ....	21
Fig. 3.3: Mapa de elevação; PPA; Detecção de bordas. ....	22
Fig. 3.4: DEM de região próxima à serra do Rio Grande do Sul. ....	23
Fig. 3.5: Perfil de Reconhecimento. ....	24
Fig. 3.6: Faixa de altitudes integral; Faixa de altitudes reduzida. ....	25
Fig. 3.7: Redução dos Ramos. ....	27
Fig. 3.8: Redução de Comprimento dos Ramos. ....	28
Fig. 3.9: Adaptação do processo de Redução de Comprimento dos Ramos. ....	29
Fig. 3.10: Branch point; Endpoint e Path. ....	30
Fig. 3.11: Mapa de esboço; Branch points; Endpoints; Paths. ....	31
Fig. 3.12: Pontos que definem um Branch point. ....	32
Fig. 3.13: Fragmentos gerados pelas variações de rotação e/ou espelhamento. ....	33
Fig. 3.14: Pontos que definem um Endpoint. ....	33
Fig. 3.15: Pontos que definem um Path. ....	34
Fig. 3.16: Percurso das arestas e posição de cada região. ....	35
Fig. 3.17: Terreno parcialmente sintetizado. ....	35
Fig. 3.18: Exemplo de definição de regiões. ....	36
Fig. 3.19: Terreno sintetizado. ....	37
Fig. 3.20: Síntese de textura baseada em fragmento. ....	38
Fig. 3.21: Sequência do processo de expansão e smooth da máscara. ....	38

Fig. 3.22: Forma da distribuição Gaussiana; Produto de duas Gaussianas.....	39
Fig. 4.1: Terreno da Serra; Esboço logotipo II; Síntese; Render.....	42
Fig. 4.2: Terreno da Serra; Esboço logotipo UFRGS; Síntese; Render.....	43
Fig. 4.3: Terreno do Grand Canyon; Esboço logotipo Half Life; Síntese; Render...	44
Fig. 4.4: Resultado obtido no trabalho de Zhou. ....	44
Fig. 4.5: Terreno do Grand Canyon; Esboço logotipo II; Síntese; Render.....	45
Fig. 4.6: Render obtido do esboço do logotipo do II da UFRGS. ....	46
Fig. 4.7: Render obtido do esboço do logotipo da UFRGS. ....	46
Fig. 4.8: Render obtido do esboço do logotipo do jogo Half Life. ....	47
Fig. 4.9: Render obtido do esboço do logotipo do II da UFRGS. ....	47
Fig. 4.10: Resultados com Grand Canyon e logotipo do jogo Half-Life.....	48
Fig. 4.11: Resultados terreno da Serra Gaúcha e logotipo do jogo Half-Life. ....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tags do arquivo GeoTIFF .....	19
Tabela 4.1: Resumo dos parâmetros do sistema.....	41
Tabela 4.2: Parâmetros relativos às imagens da Fig. 4.1.....	42
Tabela 4.3: Parâmetros relativos às imagens da Fig. 4.2.....	43
Tabela 4.4: Parâmetros relativos às imagens da Fig. 4.3.....	44
Tabela 4.5: Parâmetros relativos às imagens da Fig. 4.4.....	45
Tabela 4.6: Parâmetros utilizados na síntese dos terrenos apresentados na Fig. 4.10....	49
Tabela 4.7: Parâmetros utilizados na síntese dos terrenos apresentados na Fig. 4.11....	50

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma abordagem para síntese de terrenos a partir de modelos digitais de elevação (DEM). O desenvolvimento de novas técnicas de visualização de terrenos, apoiado no rápido crescimento do poder computacional, fez aumentar a demanda por modelos de terrenos com maior realismo. Jogos de computador, simuladores de vôo e efeitos especiais para a indústria do cinema são alguns exemplos de aplicações que fazem uso de modelos tridimensionais gerados a partir de síntese de terrenos. Contudo, a dificuldade em determinar a posição de entidades diferenciadas no relevo, tais como montanhas, vales ou rios, e também a de gerar terrenos sintéticos inspirados no relevo de regiões conhecidas, são algumas das limitações impostas pelos métodos utilizados nas aplicações comerciais existentes.

Utilizando técnicas de síntese de texturas, a solução proposta gera um novo arquivo DEM a partir de uma especificação fornecida pelo usuário das principais características do terreno desejado. Dessa forma, terrenos visualmente atraentes podem ser criados seguindo, por exemplo, letras, palavras ou qualquer símbolo expresso como uma ilustração formada por linhas.

**Palavras-Chave:** Modelo Digital de Elevação, Síntese de Terreno, Síntese de Textura.

# Terrain Synthesis and Customization from Digital Elevation Models

## ABSTRACT

This paper presents an approach for terrain synthesis from digital elevation models (DEM). The development in terrain visualization techniques, supported by rapid growth of computational power, has increased the demand for terrain models with greater realism. Computer games, flight simulators, special effects for the film industry are examples of applications that make use of three-dimensional models generated from the terrain synthesis. However, the difficulty in determining the position of differentiated entities in the terrain such as hills, valleys and rivers, and the difficulty in generating synthetic terrain inspired in known regions, are some of the imposed limitations by the methods used in existing commercial applications.

Using texture synthesis techniques, the proposed solution creates a new DEM from a specification of the main features provided by user. Therefore, visually pleasing terrain can be created from letters, words or other symbols expressed as user sketch.

**Key words:** Digital Elevation Model, Terrain Synthesis, Texture Synthesis.

# 1 INTRODUÇÃO

O tema escolhido para este trabalho é a Síntese de Terrenos a partir de Modelos Digitais de Elevação. O desenvolvimento de novas técnicas de visualização de terrenos, apoiado no rápido crescimento do poder computacional, fez aumentar a demanda por modelos de terrenos com maior realismo. Jogos de computador, simuladores de vôo e efeitos especiais para a indústria do cinema são alguns exemplos de aplicações que fazem uso de modelos tridimensionais gerados a partir de síntese de terrenos. Contudo, a dificuldade em determinar a posição de entidades diferenciadas no relevo, tais como montanhas, vales ou rios, e também a de gerar terrenos sintéticos inspirados no relevo de regiões conhecidas, são algumas das limitações impostas pelos métodos utilizados nas aplicações comerciais existentes.

O objetivo do trabalho é implementar um método para síntese de terrenos na forma de Modelos Digitais de Elevação, conforme apresentado por Zhou et al.[1]. O trabalho consiste inicialmente na extração de informações de dois arquivos: o primeiro (Fig. 1.1a), no formato DEM (Modelo Digital de Elevação), representa digitalmente a topografia da superfície de um terreno existente. O segundo arquivo (Fig. 1.1b), baseado em um esboço simples, determina a posição e o traçado de entidades de relevo que se deseja modificar, e que estão predominantemente presentes no primeiro arquivo. O resultado do método de síntese fornece um novo arquivo (Fig. 1.1c) no formato DEM, que preserva as características geológicas do terreno original, acrescidas de novas estruturas de acordo com o traçado determinado no esboço. Com esta técnica pode-se, por exemplo, criar uma cadeia de montanhas (Fig. 1.1d e Fig. 1.1e) que represente uma palavra ou um símbolo, aumentando a flexibilidade dos métodos atuais de geração de terrenos.



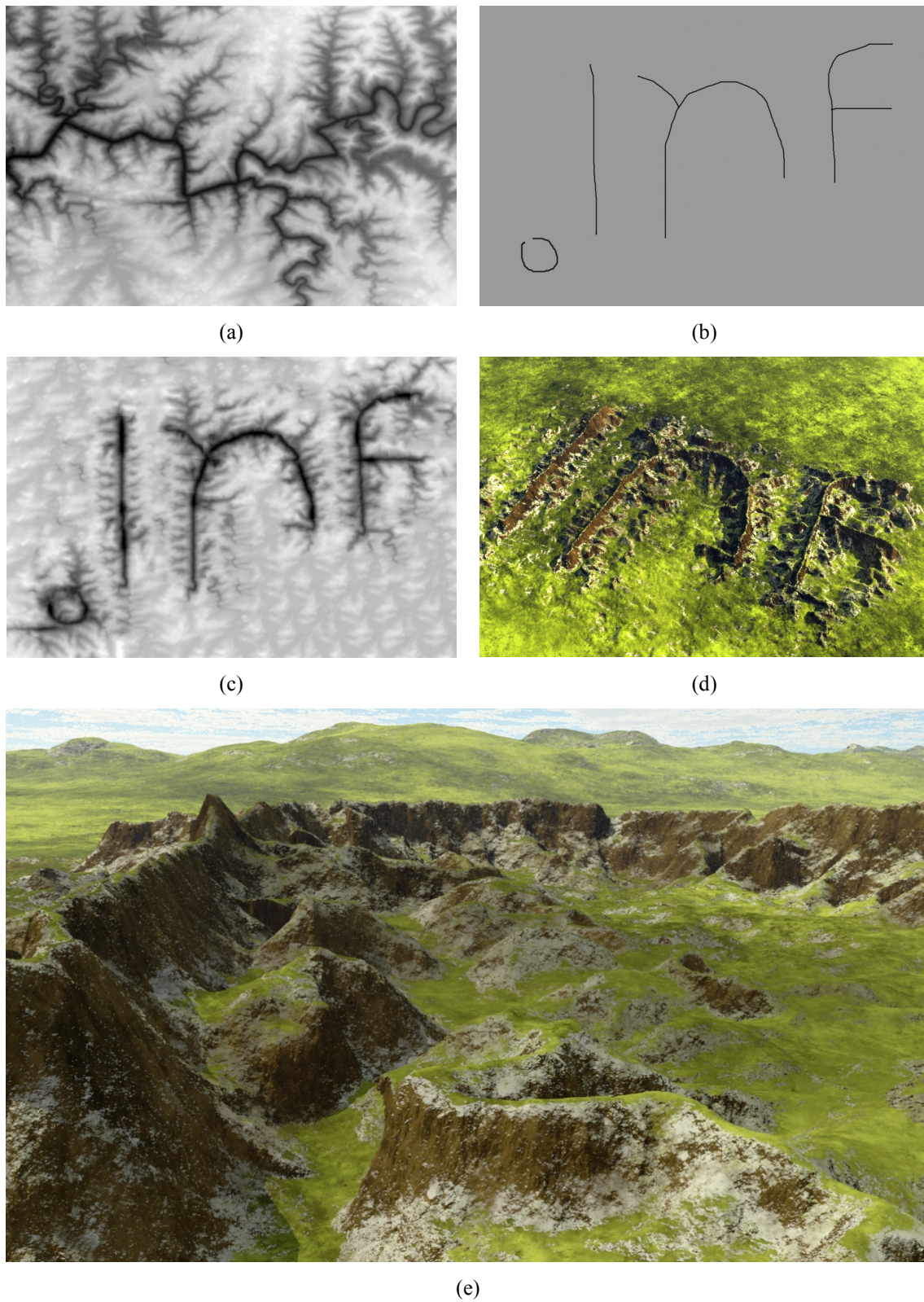


Fig. 1.1: (a) Terreno no formato DEM; (b) Esboço do usuário; (c) Resultado da síntese do novo terreno; (d) Render do terreno; (e) Detalhe do terreno.

## 1.1 Estrutura do texto

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O **Capítulo 2: Trabalhos relacionados**, apresenta uma breve revisão dos principais conceitos utilizados no trabalho, bem como a apresentação de trabalhos recentes na área de síntese de terrenos.

O **Capítulo 3: Implementação**, descreve em detalhes todas as etapas envolvidas no desenvolvimento do sistema.

O **Capítulo 4: Resultados**, apresenta exemplos de terrenos obtidos através da utilização do sistema.

Finalmente, no **Capítulo 5**, apresentamos as conclusões e direções para trabalhos futuros.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, apresentamos um resumo de conceitos utilizados no trabalho, bem como uma apresentação de trabalhos recentes na área de síntese de terrenos.

As técnicas tradicionais de modelagem usadas em computação gráfica baseiam-se na idéia de que os objetos são essencialmente uma coleção de superfícies planas, as quais podem ser descritas matematicamente por funções determinísticas. A técnica mais simples considera os objetos como uma coleção de polígonos cujas superfícies são descritas por funções lineares. Uma flexibilidade maior é alcançada através da utilização de superfícies descritas por polinômios de ordem superior como, por exemplo, as de *Bézier* ou *B-spline*. (Fig. 2.1).

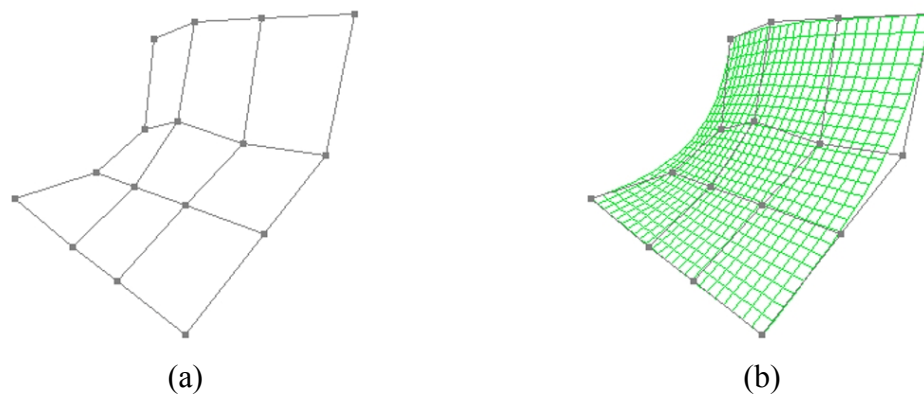


Fig. 2.1: (a) Superfície representada por uma malha poligonal. (b) Superfície de Bézier, em verde, parametrizada pela mesma malha poligonal.

Quando se fala em geração de terrenos sintetizados, há basicamente duas técnicas que abordam o assunto: modelagem fractal e simulação física por erosão. A modelagem fractal de terrenos remete ao trabalho pioneiro de Mandelbrot [6]. Desde então, uma variedade de subclasses de técnicas estocásticas foi introduzida. Fournier et al. [7] introduziu uma técnica de interpolação (Fig. 2.2) que consiste na adição e deslocamento aleatório de um ponto central a partir de cada aresta pertencente a cada polígono de uma malha, criando superfícies fractais.

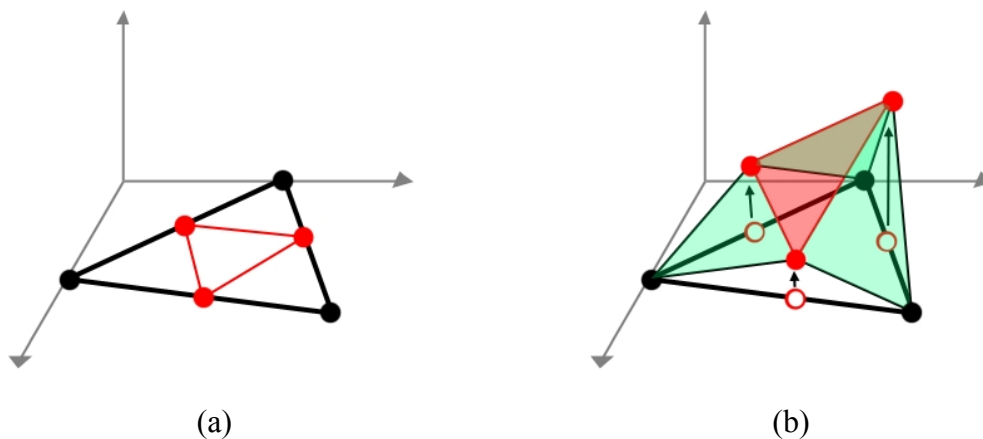


Fig. 2.2: (a) Pontos vermelhos adicionados ao polígono; (b) Deslocamento aleatório dos pontos resultando em 4 novos polígonos: 1 vermelho e 3 verdes. ( Figura adaptada do trabalho de Fournier [7] )

Um algoritmo de processamento paralelo, proposto por Miller [8] para renderização de mapas de elevação, subdivide a malha de forma recursiva em pequenas áreas menores, fazendo uma distribuição uniforme de carga entre os processadores. Szeliski e Terzopoulos [10] introduziram uma componente determinística à geração de terrenos ao combinar *splines* aos modelos fractais, fornecendo ao usuário o controle do objeto sem perder a naturalidade das formas.

A técnica de simulação física por erosão é outra abordagem alternativa para a síntese de detalhes, baseada em fórmulas de modelos de terrenos e nos efeitos da erosão causada pelo desgaste do terreno ao longo do tempo. A técnica é geralmente empregada após a geração de um mapa de elevação, como um refinamento de eventuais irregularidades e ruídos presentes na obtenção dos dados. Kelley et al.[11] foi o primeiro a introduzir um método para criar terrenos naturais, a partir da simulação de erosão causada pelo fluxo de água. O princípio básico é que um maior realismo pode ser alcançado com aproximações determinísticas do relevo de paisagens naturais. O relevo é criado através de erosão pela água (Fig. 2.3), sendo que o modelo cria uma estrutura topográfica ao percorrer as depressões formadas por um sistema de drenagem composto por um córrego e seus afluentes.

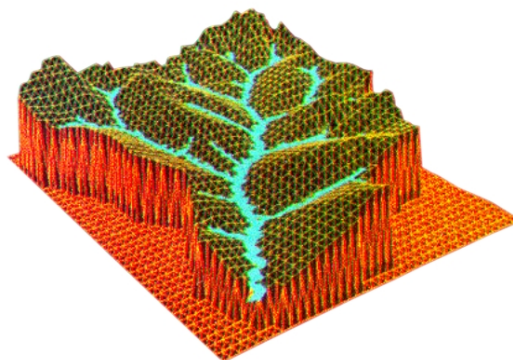


Fig. 2.3: Representação em wireframe do terreno modelado. ( Figura extraída do trabalho de Kelley [11] )



Mais tarde, Musgrave et al.[12] combinaram as técnicas de modelagem fractal e simulação física por erosão em um único sistema. Recentes técnicas de erosão física têm se concentrado na melhoria dos aspectos de modelagem física e eficiência computacional, garantindo terrenos com aparência mais realista.

As técnicas de modelagem fractal e de simulação física adicionam detalhes ao terreno através de processos que frequentemente envolvem parâmetros não muito intuitivos. Em trabalho recente, Brosz et al.[13] apresentam um método de extração de detalhes de um arquivo DEM de alta resolução (Fig. 2.4b), e aplicação em um terreno de baixa resolução (Fig. 2.4a). O objetivo é o de extrair características de pequena escala do arquivo DEM e aplicá-las no terreno do usuário.

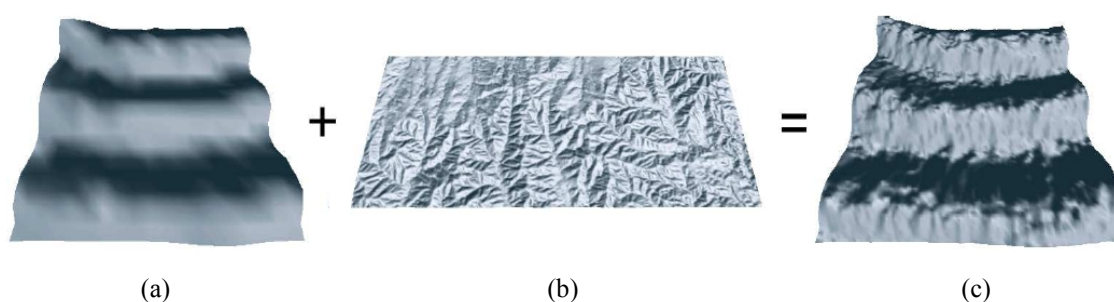


Fig. 2.4: (a) Terreno do usuário; (b) DEM; (c) Resultado da aplicação do método. ( Figura extraída do trabalho de Brosz [13] )

Na tentativa de fornecer um controle mais intuitivo ao usuário, alternativas baseadas em imagens foram propostas por Lewis [14], ao tratar os terrenos como se fosse um tipo de textura onde o controle do usuário é dado através da manipulação direta da imagem. O resultado seria então tratado como um mapa de elevação para criar uma variedade de texturas. Contudo, devido à dificuldade para um usuário em desenhar um mapa de elevação à mão, os resultados destes métodos carecem de detalhes mais realísticos.

Os mapas de elevação utilizados neste trabalho foram obtidos no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), estando disponíveis graças ao projeto TOPODATA [17] que oferece dados topográficos e suas derivações básicas em cobertura nacional desde 2003, a partir da oferta de dados da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para a América do Sul. O SRTM [18] foi uma missão espacial internacional, com um projeto capitaneado pela NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) e pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), contando também com a cooperação das agências espaciais da Alemanha e Itália: *Deutschen zentrums für Luft und Raumfahrt* (DLR) e *Agenzia Spaziale Italiana* (ASI).

Em 11 de Fevereiro de 2000, a missão foi lançada a bordo da nave espacial *Endeavour*. Com seus radares varrendo praticamente toda a superfície da Terra, a SRTM coletou, durante os dez dias de operação, dados suficientes para obter a mais completa base de dados em alta resolução da topografia terrestre. Para a obtenção dos dados, a *Endeavour* foi equipada com duas antenas de radar, sendo uma delas localizada no compartimento de carga e a outra na extremidade de um mastro de 60 metros de comprimento, a fim de coletar medidas tridimensionais da superfície da Terra. O

sobrevôo da SRTM percorreu 16 órbitas por dia, perfazendo um total de 176 órbitas, concluindo a missão com a coleta de cerca de 9TB de dados que, depois de processados, deram origem aos Modelos Digitais de Elevação (DEM). O levantamento cobriu cerca de 80% da área terrestre, entre as latitudes 60° Norte e 58° Sul.

Os arquivos gerados pela TOPODATA oferecem livre acesso a variáveis geomorfométricas locais derivadas de dados SRTM para todo o território nacional. Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) por krigagem<sup>1</sup>.

Os dados estão todos estruturados em quadrículas compatíveis com a escala 1:250.000, portanto, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude. Os arquivos possuem uma resolução de 5400 pixels por 3600 pixels, com dimensões reais que variam de acordo com a latitude, que é medida com relação à distância à linha do equador. Em seguida foram aplicados alguns algoritmos de análise geomorfométrica sobre os dados refinados, dentre eles a aplicação de uma derivação de segundo grau para evidenciação de talwegues<sup>2</sup> e divisores de água, cujos resultados foram combinados à orientação de vertentes para favorecer a interpretação das feições de drenagem e caracterização de sua estrutura.

Assim como o INPE no Brasil, o USGS (*United States Geological Survey*) é a principal fonte de mapas com informações geomorfométricas para o território norte-americano. Os arquivos DEM estão à disposição da comunidade de especialistas em sistemas de informação geográfica e do público em geral. Grande parte dos dados disponíveis também é originada da SRTM.

Os mapas de elevação utilizados neste trabalho, disponíveis no site do INPE, são modelos digitais de elevação e encontram-se codificados como GeoTIFF [16], que é uma especificação sobre o formato de imagem TIFF.

A especificação GeoTIFF define um conjunto de *tags* que descrevem todas as informações cartográficas associadas a uma imagem TIFF, originadas de sistemas de satélites, fotografias aéreas, mapas digitalizados, modelos digitais de elevação ou até resultados de análises geográficas. O objetivo é fornecer meios para associar uma imagem digital a um determinado mapa, descrevendo a sua projeção.

Sem a pretensão de substituir os atuais padrões de dados geográficos, o GeoTIFF apenas amplia a capacidade do formato TIFF fornecendo suporte a informações de georeferenciamento e geocodificação.

O conjunto de *tags* descrito na especificação do GeoTIFF é completamente ortogonal às descrições do formato TIFF, sem restrições sobre como as *tags* TIFF devam ser interpretadas, tampouco qual o tipo de compressão deva ser usado.

Algumas das *tags* ou características importantes dos arquivos GeoTIFF utilizados, são listadas na Tabela 2.1:

---

<sup>1</sup> Método de interpolação de dados.

<sup>2</sup> Talwegue (do alemão *Talweg*): Significa "caminho do vale"; É a linha variável ao longo do tempo que se encontra no meio da parte mais profunda de um rio; Linha de intersecção dos planos de duas encostas

<b><i>TAG</i></b>	<b>Valor</b>	<b>Significado</b>
TIFFTAG_IMAGEWIDTH	5400	Largura da imagem
TIFFTAG_IMAGELENGTH	3600	Altura da imagem
TIFFTAG_SAMPLEFORMAT	3	<i>IEEE floating point data</i>
TIFFTAG_BITSPERSAMPLE	32	Quantidade de <i>bits / pixel</i>
TIFFTAG_SAMPLES PERPIXEL	1	Imagem tipo <i>grayscale</i>

Tabela 2.1: Tags do arquivo GeoTIFF

### 3 IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo são detalhadas todas as etapas envolvidas no processo de síntese de um mapa de elevação, conforme originalmente proposto por Zhou et al.[1]. A Fig. 3.1 mostra resumidamente, através de um diagrama, todas as etapas do processo, desde a entrada dos arquivos de terreno e de esboço do usuário, passando pelo algoritmo de PPA (Perfil de Reconhecimento, Conexão dos Pixels, Quebra dos Polígonos, Redução dos Ramos e Redução de Comprimento dos Ramos), identificando os traços importantes (*branch points*, *paths* e *endpoints*), posicionando os fragmentos ao longo do esboço, preenchendo as áreas vazias não atingidas diretamente pelo esboço, e por fim, obtendo um resultado tridimensional através da renderização do terreno de saída. Estas etapas são detalhadas nas próximas seções.

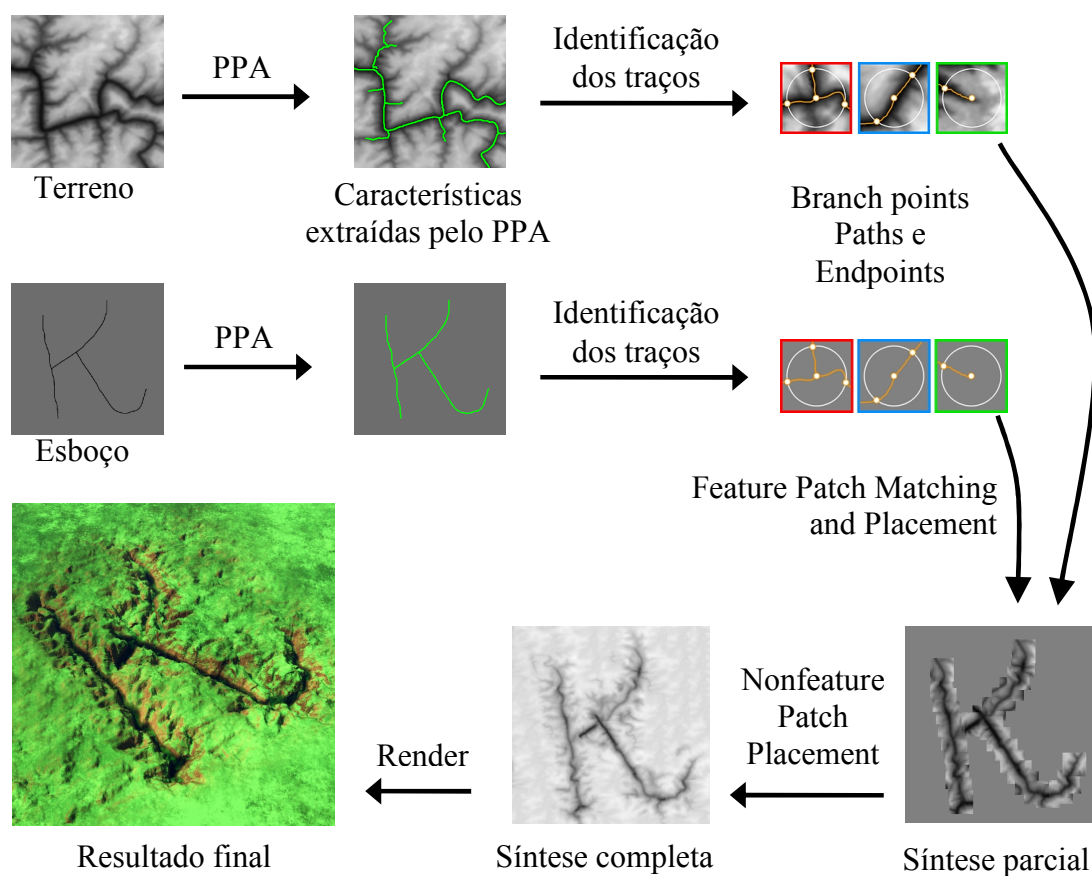


Fig. 3.1: Diagrama do processo



### 3.1 Extração das Características

Nesta etapa do trabalho, é feita a extração das características do terreno presentes no mapa de elevação e no mapa de esboço do usuário. Tais características determinam o *layout* geral do terreno e são determinadas predominantemente por entidades curvilíneas de grande escala, como o leito de um rio, um vale ou o cume de uma serra. O objetivo é combinar as estruturas primárias com a forma desejada do esboço, preservando a riqueza de detalhes presente nos dados do mapa de elevação. Há nesta etapa, uma adaptação do algoritmo *Profile recognition and Polygon breaking Algorithm* (PPA) desenvolvido por Chang et al.[2] com os seguintes passos:

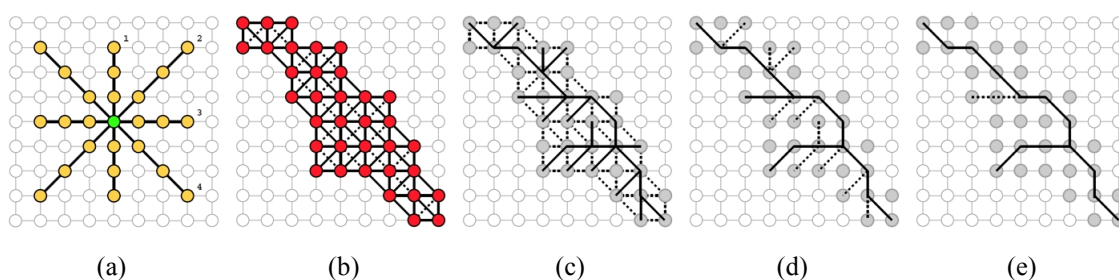


Fig. 3.2: Algoritmo: Profile recognition and Polygon breaking (PPA) desenvolvido por Chang. (a) Perfil de Reconhecimento. (b) Conexão dos Pixels. (c) Quebra dos Polígonos. (d) Redução dos Ramos. (e) Redução de Comprimento dos Ramos.

As etapas do algoritmo de PPA serão ilustradas com um exemplo de mapa de elevação (Fig. 3.3a), onde o objetivo é identificar todos os *pixels* de maior depressão caracterizados como o talvegue de um rio. Regiões montanhosas também podem ser identificadas pelo PPA com uma simples modificação na comparação entre cada um dos *pixels* em relação aos seus respectivos vizinhos. Estes *pixels* irão compor uma estrutura em árvore.

Num primeiro momento, pode se imaginar que as características do terreno possam ser obtidas através do processo de detecção de bordas. Porém, uma análise mais aprofundada, revela vários problemas quando aplicado a mapas de elevação mais complexos. O método de detecção de bordas é baseado na derivada máxima local, porém o traçado do terreno é caracterizado pelos valores mínimo e máximo locais do mapa de elevação. Como consequência, o traçado obtido pela detecção de bordas identifica as margens do rio e não o talvegue como acontece no PPA, além de aglutinar pequenas ramificações em uma única representação de borda.

O resultado do PPA (Fig. 3.3b), aplicado sobre o mapa de elevação da Fig. 3.3a, permite verificar que os eixos do percurso do rio, e também de seus afluentes, coincidem com a percepção humana do que sejam as características curvilíneas de um terreno, diferentemente do resultado apresentado pela detecção de bordas, que por sua vez tem a vantagem de identificar as margens do traçado principal do rio, mas perde a precisão em ramificações de pequena ordem.

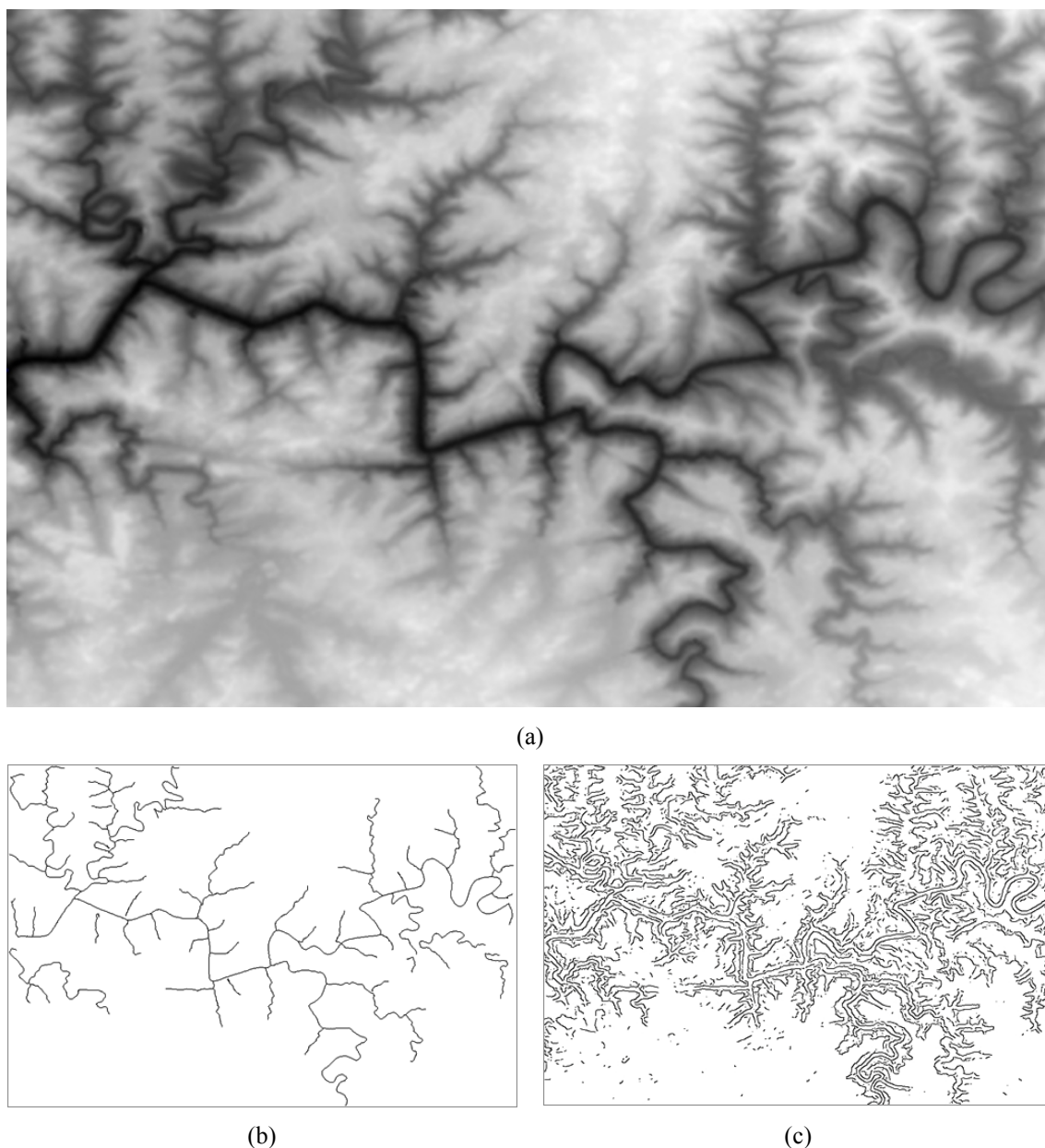


Fig. 3.3: (a) Exemplo de mapa de elevação, (b) Características extraídas pelo PPA, (c) Características extraídas pelo processo de detecção de bordas.

Os arquivos gerados pela TOPODATA fornecem os dados de altitude com a precisão de 30 metros por pixel. O mapa de elevação usado no exemplo apresenta uma resolução de  $1050 \times 700$  *pixels*, tendo sido parcialmente extraído de um desses arquivos, portanto possui uma extensão aproximada de 31 Km no sentido Leste-Oeste, e 21 Km no sentido Norte-Sul, o equivalente a uma área também aproximada de  $650 \text{ Km}^2$ . A Fig. 3.4 foi gerada a partir de imagens obtidas no Google Earth<sup>TM</sup> [20] e fornece a localização do terreno usado no exemplo.

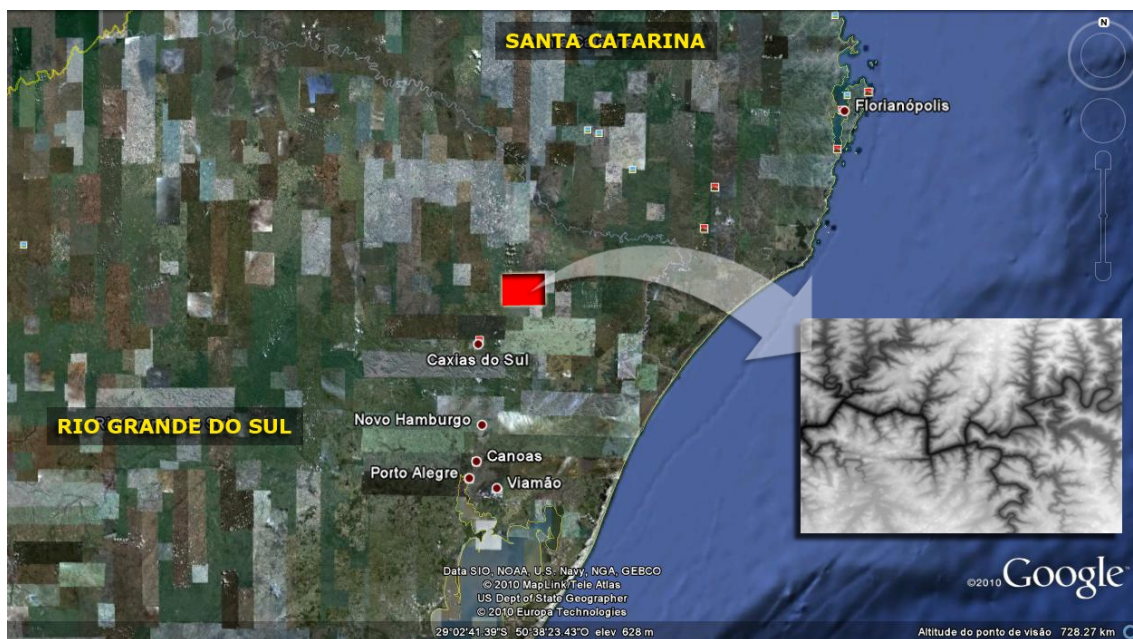


Fig. 3.4: DEM de região próxima à serra do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Caxias do Sul e Vacaria, banhada pelo Rio das Antas. Ponto central com latitude 28°48' Sul e longitude: 50°50' Oeste (Imagem gerada no Google Earth™)

A Seguir, explicaremos cada um dos 5 passos do algoritmo de PPA.

### 3.1.1 Perfil de Reconhecimento

O reconhecimento dos *pixels* que farão parte da estrutura principal é feito com um algoritmo chamado Perfil de Reconhecimento. Todos os *pixels* reconhecidos como parte de um talvegue, ao longo de um perfil de determinado tamanho, são considerados *pixels* candidatos.

Prevenido a possibilidade de haver falha na detecção devido à baixa precisão de alguns mapas de elevação, a análise dos *pixels* vizinhos ao *pixel* central não se restringe apenas aos *pixels* imediatamente ligados a ele, podendo ampliar a largura de vizinhança para um perfil de comprimento maior do que 3.

Os *pixels* amarelos na grade (Fig. 3.2a) são examinados e o *pixel* central é marcado como candidato se houver um par de *pixels*, em qualquer uma das 4 direções, com altitude simultaneamente maior do que o *pixel* central. Estes *pixels* vizinhos devem estar em lados distintos no perfil, em sentidos opostos com relação ao *pixel* central. Um perfil de tamanho 7, por exemplo, compara o *pixel* central com os outros 6 *pixels* vizinhos, sendo 3 deles de cada lado do perfil. Além disso, o perfil é alinhado nas direções Norte - Sul, Nordeste - Sudoeste, Leste - Oeste e Sudeste - Noroeste, a fim de verificar se o *pixel* é candidato ou não.

Os *pixels* candidatos, resultantes desta etapa, estão representados na Fig. 3.5 pelos *pixels* de cor azul.

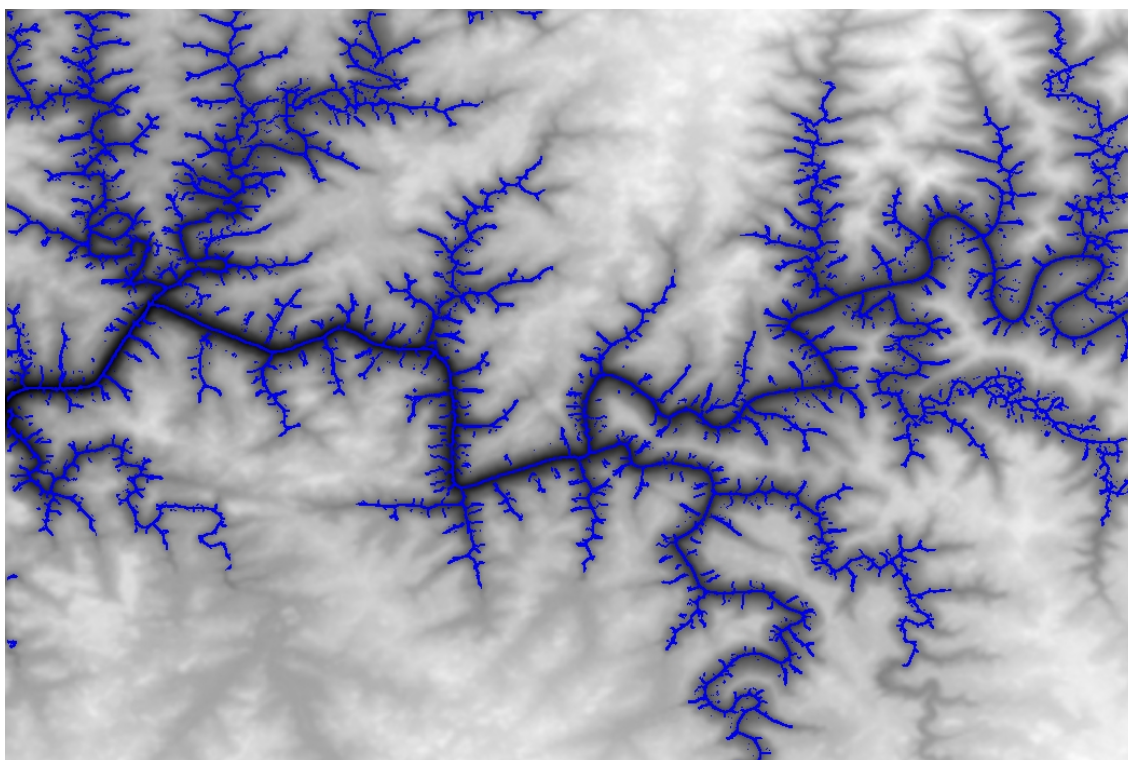


Fig. 3.5: Perfil de Reconhecimento, usando perfil de tamanho 5.



A vantagem do Perfil de Reconhecimento é que em determinadas áreas do terreno com altitude constante, como o fundo de um vale ou o cume de uma montanha, a determinação dos *pixels* vai um pouco além da comparação com os *pixels* vizinhos, garantindo a continuidade do traçado na identificação do leito de um rio, por exemplo.

Uma das características do Perfil de Reconhecimento é o de identificar os *pixels* candidatos levando em conta apenas a vizinhança local. Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é extrair do terreno original as áreas de maior destaque, a análise dos *pixels* requer uma percepção global do mapa de elevação. Uma simples adaptação no algoritmo permitiu levar em conta a amplitude total do terreno definindo o limite mínimo e máximo de uma faixa de altitudes, na qual os *pixels* devem se enquadrar.

Tomando o exemplo definido anteriormente, podemos comparar os resultados obtidos levando em conta a faixa de altitudes integral (Fig. 3.6a), que varia entre a mínima e a máxima, em oposição ao mesmo mapa de elevação, agora com uma faixa de altitudes reduzida (Fig. 3.6b), variando entre a mínima e 25% da máxima.

Podemos observar na Fig. 3.6b que os *pixels* marcados na cor azul

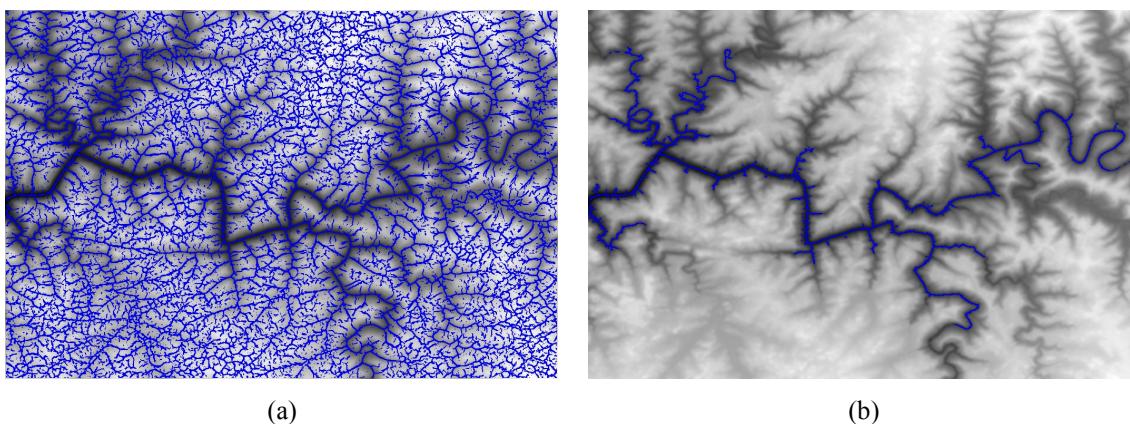


Fig. 3.6: Perfil de Reconhecimento. (a) faixa de altitudes integral; (b) faixa de altitudes reduzida

### 3.1.2 Conexão dos Pixels

Todos os candidatos identificados na etapa anterior são ligados por um segmento a todos os outros candidatos adjacentes (círculos vermelhos na Fig. 3.2b). Cada segmento recebe um peso, que é a soma das altitudes dos *pixels* por ele interligados.

Quando um segmento atravessa outro diagonalmente, o segmento de menor importância é eliminado (segmentos pontilhadas na Fig. 3.2b). No exemplo de mapa de elevação (Fig. 3.5), os segmentos eliminados são os de maior peso, visto que o objetivo é identificar os *pixels* de menor altitude do terreno, eliminando os segmentos de maior elevação e preservando os de menor altitude.

Ainda nesta etapa, cada segmento é comparado aos seus vizinhos imediatos paralelos, de forma a eliminá-los quando o segmento analisado tiver um peso simultaneamente menor do que o peso de cada segmento vizinho. Quando o segmento

analisado for preservado, ele é rotulado como “confirmado” e será tratado de forma diferenciada na etapa de Redução dos Ramos.

### 3.1.3 Quebra dos Polígonos

A Quebra dos Polígonos é um processo que busca, exaustivamente, polígonos fechados de qualquer tamanho, com o objetivo de eliminar os segmentos de menor importância.

Estes segmentos podem ser entendidos como as arestas de um grafo, não necessariamente conexo, e os *pixels* por ele interligados, os seus vértices. O objetivo deste processo é justamente o de transformar o grafo em uma árvore (grafo conexo sem a presença de ciclos) ou até mesmo em uma floresta (grafo desconexo, cujas componentes conexas são árvores).

No exemplo dado, os segmentos de menor importância são aqueles com maior peso, ou seja, aqueles que interligam *pixels* que, na média, têm maior altitude do que qualquer outro segmento presente no mapa de elevação. Para cada rodada da Quebra dos Polígonos, o traçado começa a partir de uma extremidade do segmento menos importante, que não tenha sido verificado anteriormente, e termina ao retornar ao mesmo *pixel* ou encontrar um final de rota. Uma vez que o segmento é identificado como parte de um polígono fechado, ele é eliminado e o polígono é quebrado.

Os principais problemas deste processo são que, tanto a identificação do segmento de menor importância, como as ações de rastreamento consomem muito tempo de processamento. O primeiro problema é resolvido ordenando os segmentos de forma crescente em relação ao seu peso, de maneira que a cada rodada o primeiro segmento será sempre o de menor importância e, se for identificado um ciclo, este segmento será o eliminado. Para amenizar o segundo problema, as reais conexões entre os *pixels*, representadas pelos segmentos, são tratadas distintamente das possíveis rotas que compõem o traçado de cada passo do algoritmo. Uma vez que um segmento é eliminado pela quebra de polígono, a respectiva rota, que interliga os mesmos *pixels*, também é eliminada e nenhum traçado irá passar por ela novamente. Isto faz com que a quantidade de segmentos se reduza significativamente a cada iteração, reduzindo o tempo de processamento.

### 3.1.4 Redução dos Ramos

Após o processo de Quebra dos Polígonos, ramificações menores ainda permanecem ligadas à estrutura principal, sendo que muitas delas são consideradas como resultado indesejável do Perfil de Reconhecimento, o qual gera alguns segmentos excedentes. Se, por exemplo, um perfil de tamanho 7 for usado, a largura do eixo da estrutura pode expandir de 1 para 3. Neste caso, após o Quebra dos Polígonos, é possível identificar falsas ramificações de comprimento menor do que 3 ligadas ao eixo principal da estrutura.

Nesta etapa, todas as ramificações terão seu comprimento reduzido, sendo subtraído um valor correspondente à metade do tamanho do perfil de reconhecimento (segmentos pontilhados na Fig. 3.2d). Para evitar que segmentos localizados nas extremidades da estrutura sejam completamente eliminados por esse processo, os segmentos rotulados anteriormente como “confirmados” são preservados e não sofrem qualquer modificação.

A estrutura resultante do processo de Redução dos Ramos está representada na Fig. 3.7 pelos *pixels* de cor amarela.

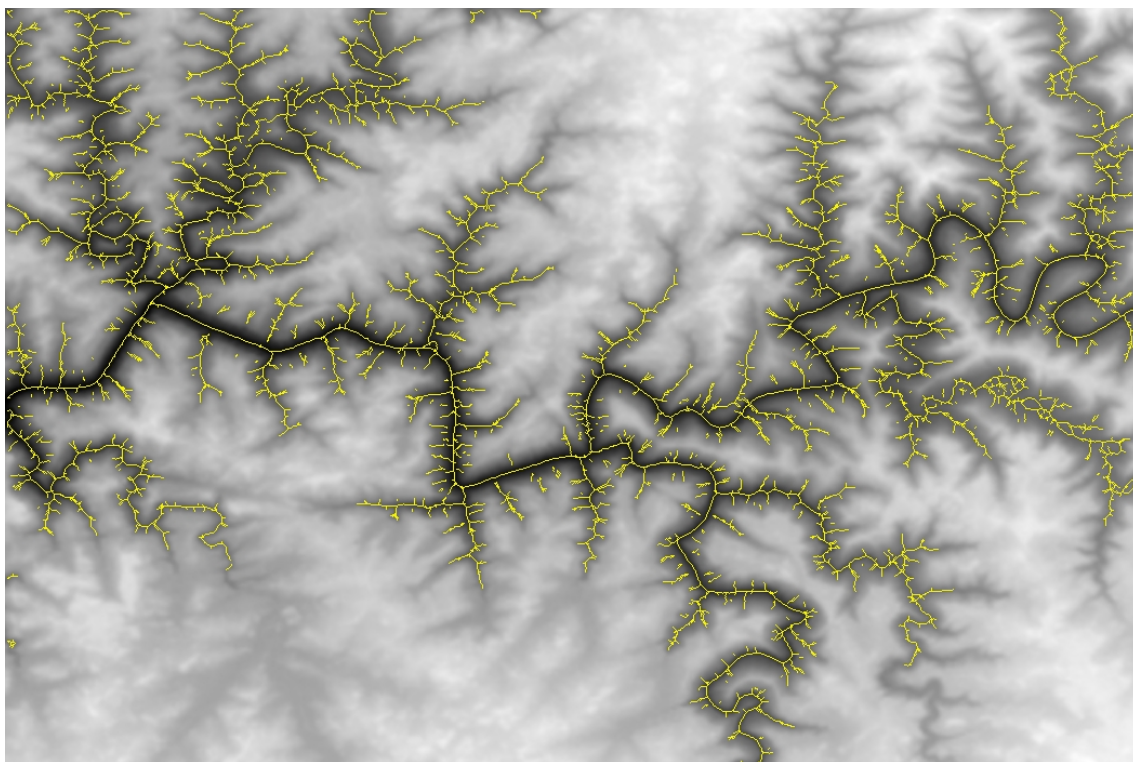


Fig. 3.7: Redução dos Ramos aplicado ao resultado da sequência: Perfil de Reconhecimento (Fig. 3.5), Conexão dos Pixels e Quebra dos Polígonos

### 3.1.5 Redução de Comprimento dos Ramos

Nesta última etapa do algoritmo de PPA, ramificações com medidas inferiores a um dado comprimento fornecido pelo usuário serão eliminadas preservando apenas as ramificações mais significativas. O objetivo é o de facilitar na identificação de fragmentos do mapa de elevação que contenham alguns traços importantes como: pontos de ramificação, pontos terminais e longas cadeias de segmentos, os quais serão mais bem detalhados na próxima seção.

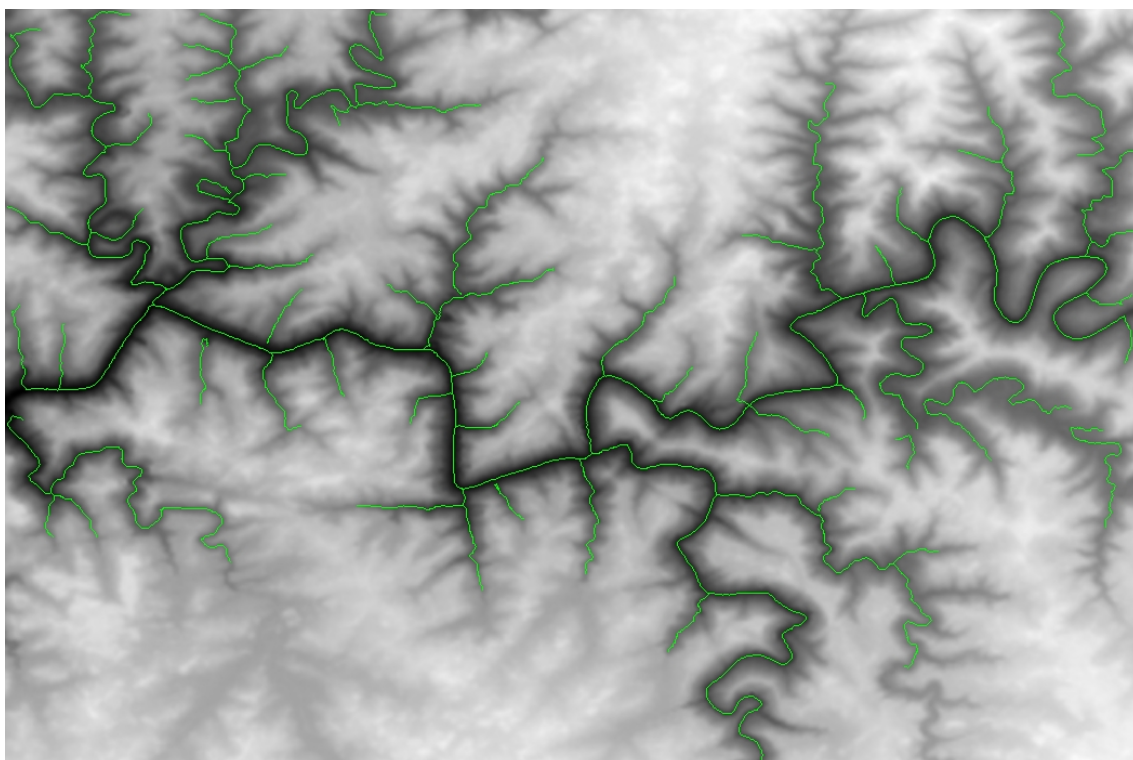


Fig. 3.8: Redução de Comprimento dos Ramos, após o Redução dos Ramos (Fig. 3.7), com eliminação de ramificações de comprimento menores do que 30 unidades.

Neste ponto, o algoritmo de PPA sofreu outra pequena adaptação na forma de como as ramificações são identificadas e posteriormente eliminadas. A varredura dos *pixels* do mapa de elevação é feita seguindo a orientação padrão *top/down* e *left/right*, podendo causar um resultado indesejável em alguns casos, como o exemplo da Fig. 3.9. A direção de um conjunto de ramificações identificadas na Fig. 3.9a tem sentido contrário à orientação de varredura da imagem, fazendo com que o processo de Redução de Comprimento dos Ramos remova de forma “recursiva” praticamente todo o conjunto de ramificações que se estendem na direção Norte - Sul.

Diferentemente do algoritmo original que, em um único passo, identifica e remove as ramificações de comprimento menor do que um dado valor fornecido pelo usuário, a adaptação proposta analisa as ramificações de forma progressiva, começando com as de



comprimento igual a 1, até atingir as de valor máximo. O efeito desta adaptação (Fig. 3.9c) minimiza o problema ao preservar o eixo principal do conjunto de ramificações, e pode ser comparado ao resultado do algoritmo original (Fig. 3.9b). Por outro lado, o ônus desta modificação se reflete no aumento no custo computacional, que é multiplicado por um coeficiente igual ao valor do comprimento dos ramos que se deseja eliminar.

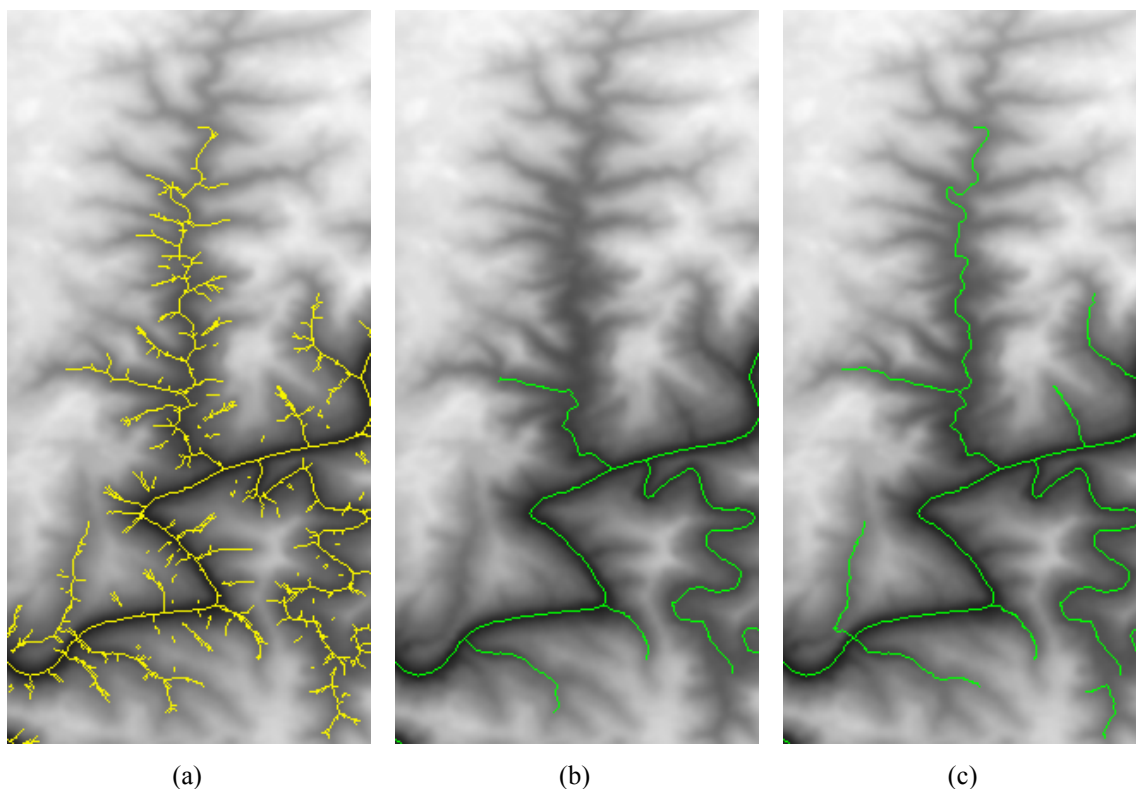


Fig. 3.9: Adaptação do processo de Redução de Comprimento dos Ramos em parte do mapa de elevação. (a) Redução dos Ramos (etapa anterior); (b) Resultado “original”; (c) Resultado da adaptação.

Vale lembrar que as etapas do algoritmo de PPA empregadas no mapa de elevação também são utilizadas, de forma análoga, no mapa de esboço do usuário. A próxima seção, Feature-Based Patch Matching and Placement, trata justamente da correspondência que deverá existir entre determinados fragmentos do mapa de elevação original e o mapa de esboço, com o objetivo de criar um novo mapa de elevação.

### 3.2 Feature-Based Patch Matching and Placement

O processo de síntese extrai fragmentos do mapa de elevação original e os coloca em um novo mapa de elevação, definido pelo mapa de esboço do usuário. O tamanho destes fragmentos é determinado pela escala do terreno e também pelo nível de detalhe desejado no novo terreno. A seleção e o posicionamento dos fragmentos são feitos em duas etapas.

A primeira etapa, Feature Patch Matching and Placement, identifica no mapa de esboço (Fig. 3.11a) regiões que contenham traços isolados: *branch points* (Fig. 3.11b) e *endpoints* (Fig. 3.11c); e traços curvilíneos: *Paths* (Fig. 3.11d). O que basicamente diferencia cada um dos três tipos de traços é a quantidade de pontos de controle ligados ao ponto central da cada região, sendo que um *branch point* possui 3 pontos, um *path* possui 2 pontos, e um *endpoint* possui 1 único ponto de controle, como podemos conferir na Fig. 3.10. Fragmentos encontrados no mapa de elevação original, que combinem com essas regiões serão posicionados no novo mapa de elevação. Os detalhes de cada tipo de traço serão devidamente explicados nas suas respectivas subseções.

A segunda etapa, Nonfeature Patch Placement, preenche as áreas não atingidas pela primeira etapa, ou seja, completa as áreas vazias, sem traços marcantes definidos no mapa de esboço.

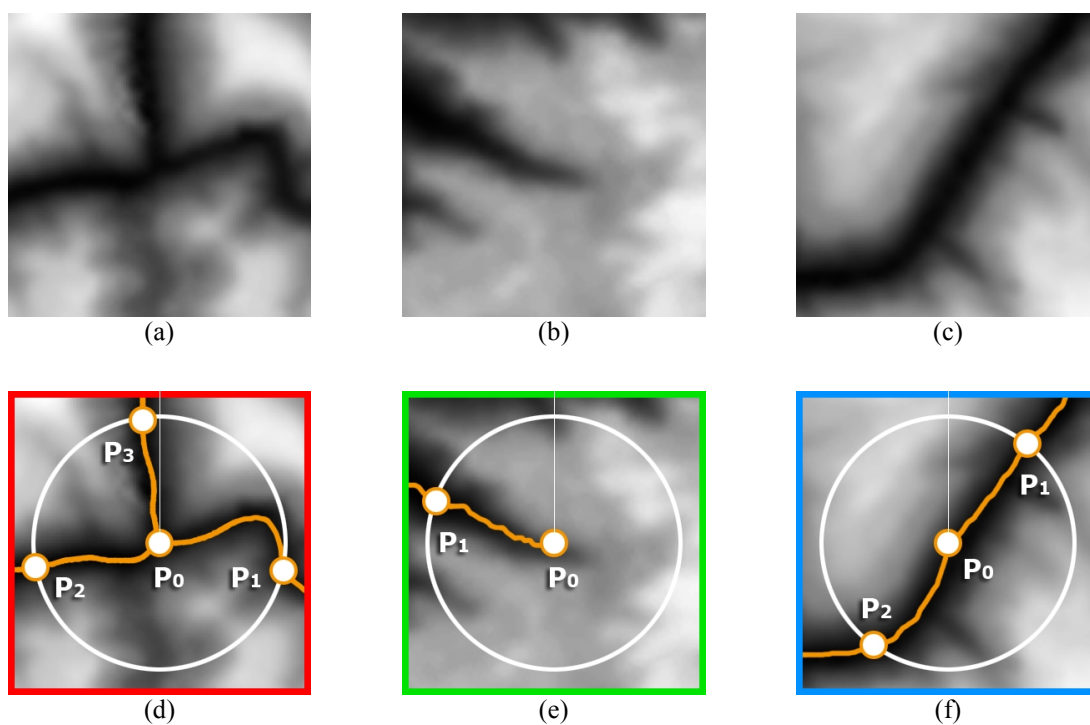


Fig. 3.10: Exemplos de fragmentos de terreno para cada tipo de traço. (a) Branch point, (b) Endpoint e (c) Path (cadeia de segmentos). (d), (e), e (f) correspondem aos mesmos fragmentos após as etapas da seção Extração das Características.

Se tratarmos os traços isolados extraídos pelo PPA como nós, e os traços curvilíneos como arestas de um grafo, então o grafo formado a partir da identificação destes traços, é garantidamente acíclico. O algoritmo segue uma ordem de busca em largura para combinar e alinhar os fragmentos extraídos do terreno original.

### 3.2.1 Feature Patch Matching and Placement

Como descrito anteriormente, os traços isolados no esboço do usuário são pontos de ramificação ou pontos terminais no segmento do grafo. O esboço apresentado na Fig. 3.11 contém 3 *Branch Points* e 7 *Endpoints*. O sistema analisa o esboço do usuário e identifica todos esses traços isolados. Um por um, cada traço isolado é analisado e uma lista de candidatos correspondentes é formada a partir dos traços isolados presentes no mapa de elevação de original. Os traços curvilíneos (*Paths*) serão devidamente tratados na subseção correspondente.

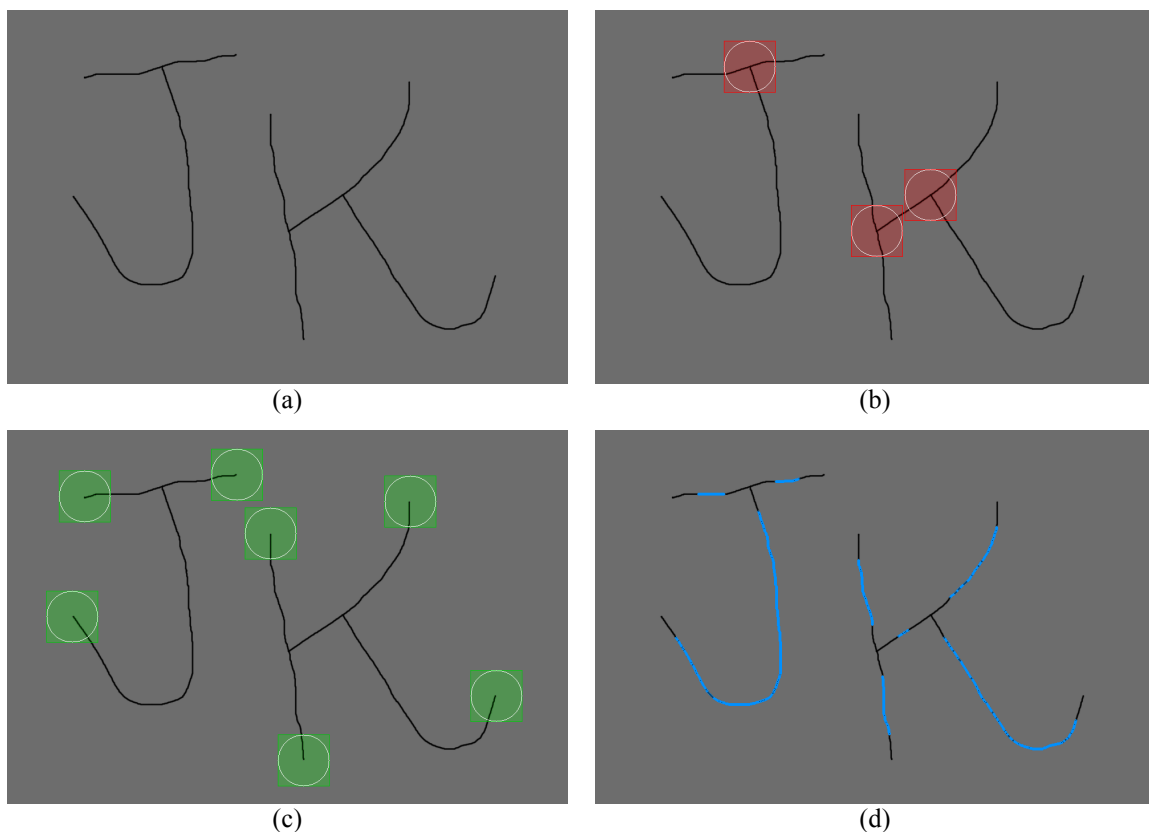


Fig. 3.11: (a) Mapa de esboço; (b) Branch points; (c) Endpoints; (d) Paths.

### 3.2.1.1 Branch Points

Um *branch point* (Fig. 3.10a) é identificado como um traço isolado, presente tanto em uma região do mapa de esboço quanto em um fragmento do mapa de elevação, definido por um conjunto de pontos resultantes da aplicação do algoritmo de PPA.

Para posicionar um fragmento candidato que se ajuste ao esboço do usuário, um conjunto de pontos de controle  $\{P_i\}$  deve ser identificado para cada fragmento, os quais são numerados no sentido horário a partir de uma linha vertical imaginária de sentido Norte. Estes pontos consistem na localização do ponto central, onde há a ramificação em si, mais os outros pontos onde cada rota de saída intercepta um círculo inscrito no fragmento (Fig. 3.12a). Pontos de controle correspondentes  $\{P'_i\}$  também são definidos para o fragmento do mapa de esboço (Fig. 3.12b).

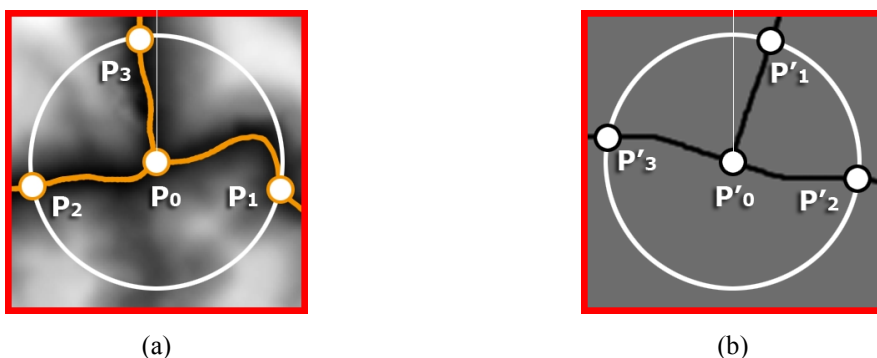


Fig. 3.12: Identificação e localização do conjunto de pontos que definem um branch point no (a) Mapa de elevação e no (b) Mapa de esboço do usuário.

A combinação de um *branch point* entre o esboço do usuário e o terreno fornecido requer uma semelhança entre os ângulos de cada rota de saída. A mesma linha vertical de referência serve para determinar o ângulo de cada ponto em relação ao ponto central do fragmento do terreno. Para definir a qualidade do ângulo de combinação, somente  $d$  possíveis alinhamentos devem ser considerados para um grau  $d$  do ponto de ramificação. Por exemplo, conforme mostrado na Fig. 3.12, os ângulos do *branch point* teriam três alinhamentos possíveis  $(P'_1, P'_2, P'_3) \rightarrow (P_1, P_2, P_3), (P_2, P_3, P_1), (P_3, P_1, P_2)$ . Neste caso específico, a melhor semelhança é encontrada com a seguinte relação de alinhamento:  $(P'_1, P'_2, P'_3) \rightarrow (P_3, P_1, P_2)$ .

Com o objetivo de melhorar a qualidade de combinação entre os ângulos, cada fragmento do mapa de elevação origina outros 7 fragmentos a partir de rotações e espelhamentos (Fig. 3.13), resultando em um alto grau de combinação entre a região do esboço com o fragmento do terreno.

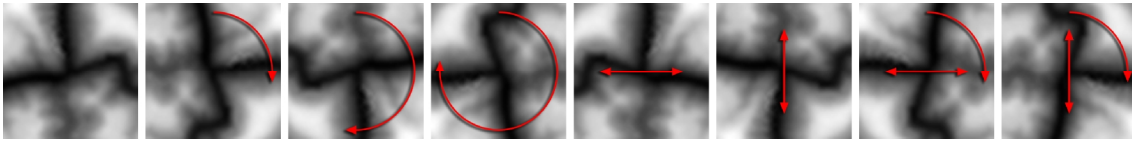


Fig. 3.13: Fragmentos gerados a partir das variações de rotação e/ou espelhamento.

### 3.2.1.2 Endpoints

Correspondência de *endpoints* é simples porque todos os fragmentos deste tipo têm características semelhantes a traços curvilíneos: uma cadeia de segmento relativamente curta, saindo do ponto central e podendo ser facilmente alinhada. Os *endpoints* são tratados de forma muito semelhante aos *branch points* no que se refere à definição do ângulo de combinação entre o mapa de elevação e o mapa de esboço, bem como a ampliação do número de *endpoints* utilizando o recurso de rotação e espelhamento dos fragmentos candidatos.

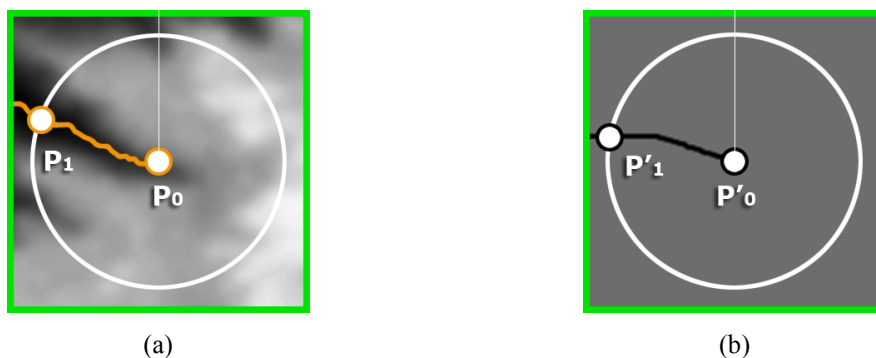


Fig. 3.14: Identificação e localização do conjunto de pontos que definem um Endpoint no (a) Mapa de elevação e no (b) Mapa de esboço do usuário.

### 3.2.1.3 Paths Features

Há sempre três pontos de controle,  $P_0$ ,  $P_1$  e  $P_2$ , no fragmento candidato, e três pontos correspondentes,  $P'_0$ ,  $P'_1$ ,  $P'_2$ , no esboço do usuário, os quais determinam os ângulos de combinação (Fig. 3.15). Os pontos de controle externo  $P_1$  e  $P_2$  estão localizados onde o caminho cruza o círculo inscrito no fragmento. O ponto central  $P_0$  é o ponto central na cadeia de dentro de um fragmento, que é análogo ao ponto de controle central de um *branch point*.

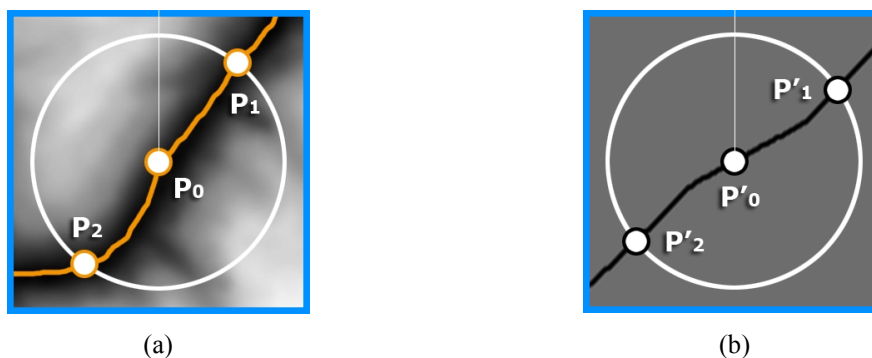


Fig. 3.15: Identificação e localização do conjunto de pontos que definem um Path no (a) Mapa de elevação e no (b) Mapa de esboço do usuário.

Todos os traços curvilíneos são cadeias de segmentos que se estendem ao longo de dois traços isolados. O sistema percorre estas cadeias em passos que têm a metade do tamanho de um fragmento, escolhendo um fragmento do mapa de elevação e o posicionando no novo terreno. Assim como os *branch points* e *endpoints* são tratados como vértices de um grafo, os *paths*, ou cadeias de segmentos, são as arestas deste grafo. Uma característica importante do algoritmo de PPA é garantir que o grafo gerado será garantidamente acíclico, portanto pode ser visto como uma árvore. Isto permite definir a ordem de preenchimento das áreas do novo terreno ao longo das arestas da árvore, as quais são percorridas usando busca em largura.

Formalmente, uma busca em largura é um método que expande e examina sistematicamente todos os nós de uma árvore em busca de uma solução, armazenando os vértices em uma estrutura de fila. A busca em largura começa por um vértice, normalmente um *branch point*, e enquanto percorre cada uma das arestas, identifica uma sequência de *paths* até encontrar o próximo vértice, que pode ser um *branch point* ou um *endpoint*. O método continua até que existam vértices ainda não visitados.

A Fig. 3.16 indica numericamente a sequência de arestas que serão percorridas e a posição exata de cada região que irá receber os fragmentos extraídos do mapa de elevação. Todas as regiões identificadas como *branch points*, *endpoints* ou *paths* serão armazenadas de forma sequencial, respeitando a busca em largura, e serão preenchidas uma a uma usando o critério de semelhança de ângulos entre as regiões do esboço e os fragmentos candidatos presentes no mapa de elevação.

O resultado parcial de síntese do novo mapa de elevação, considerando apenas as regiões ao longo do esboço traçado pelo usuário, é apresentado na Fig. 3.17. Neste exemplo, a dimensão do fragmento utilizado foi de 71x71 pixels e a distância entre cada *path* foi de 35 pixels ao longo de cada aresta.

As técnicas de síntese de textura utilizadas para fazer o posicionamento de cada fragmento no novo terreno são detalhadas na seção Junção dos Fragmentos.

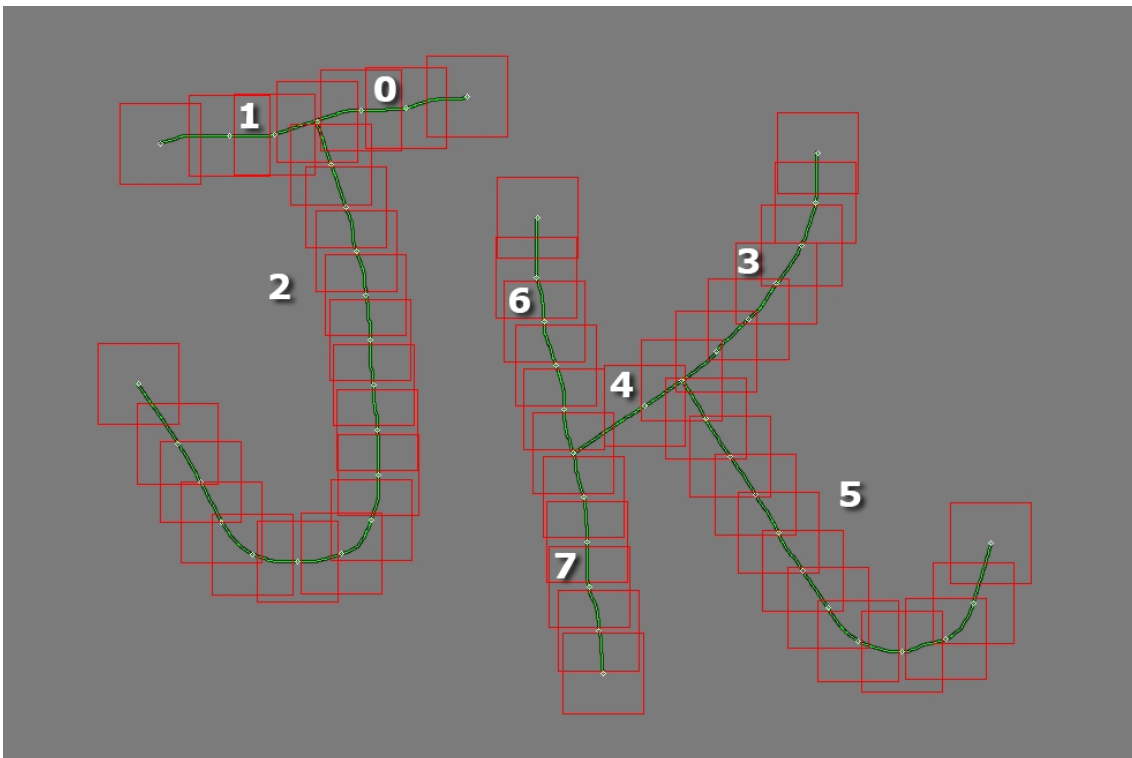


Fig. 3.16: Sequência de percurso das arestas e indicação exata da posição de cada região a ser preenchida. Regiões com dimensão de 71x71 pixels, distantes a cada 35 pixels.

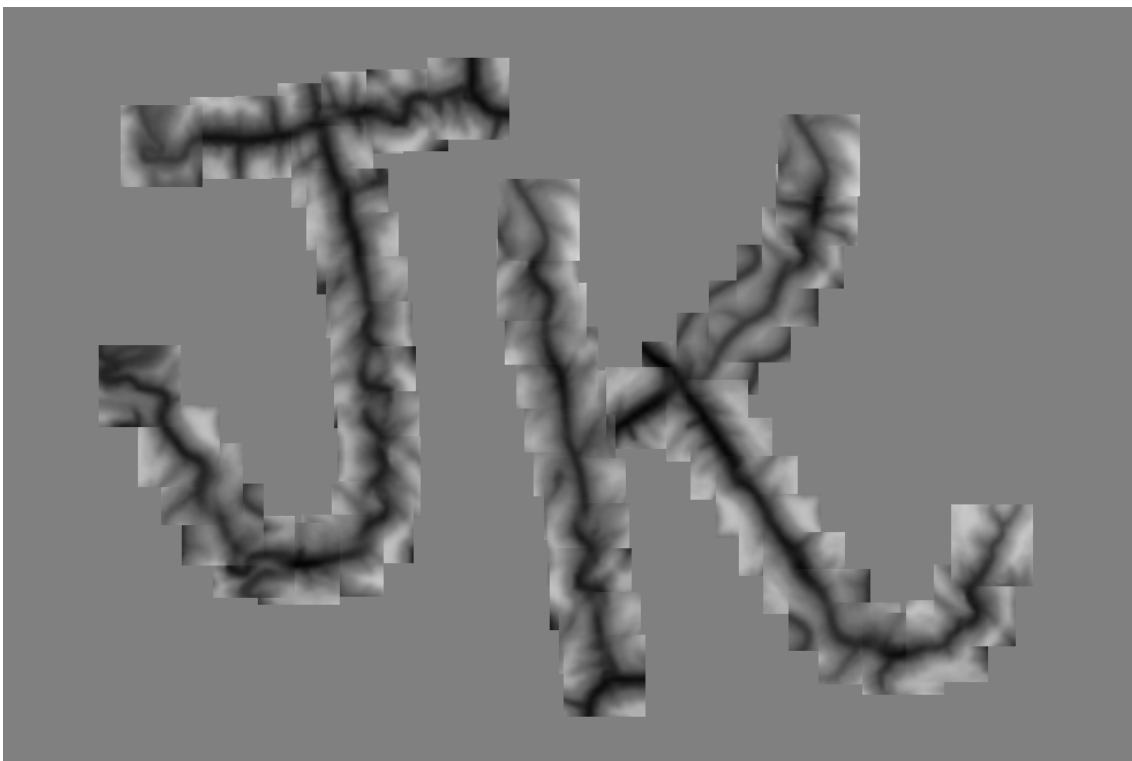


Fig. 3.17: Terreno parcialmente sintetizado após Feature Patch Matching and Placement.

### 3.2.2 Nonfeature Patch Placement

Uma vez que os traços isolados e os traços curvilíneos tenham sido colocados, sobram os espaços vazios, sem traços marcantes, no novo mapa de elevação. A maneira usada para preencher essas áreas é copiando fragmentos que apresentam uma melhor correspondência com os *pixels* que já foram inseridos no novo mapa de elevação. O sistema amplia a dimensão do fragmento e cria uma grade no novo terreno (Fig. 3.18), dividindo-o em regiões de igual dimensão, sempre considerando uma faixa de sobreposição que servirá para amenizar a junção com fragmentos já inseridos.

O sistema procura por uma correspondência de alta qualidade entre esta região e todos os possíveis fragmentos de igual dimensão presentes no terreno de origem, baseando-se na SSD (*sum of squared differences*). O melhor fragmento é posicionado e o sistema continua percorrendo o novo mapa de elevação procurando por sobreposições. O processo termina quando todos os pixels no mapa de saída tiverem sido preenchidos.

A região escolhida para iniciar o processo de preenchimento do novo terreno é aquela cuja área contém o maior número de pixels já inseridos e que não esteja plenamente preenchida. Em cada região, sempre haverá uma porção vazia que deverá ser preenchida com um valor que se modifica, à medida que se afasta do traçado principal do esboço. Adicionalmente, esta porção de área recebe a aplicação de ruído uniforme, com o intuito de melhorar a correspondência entre a região e os fragmentos candidatos do terreno original.

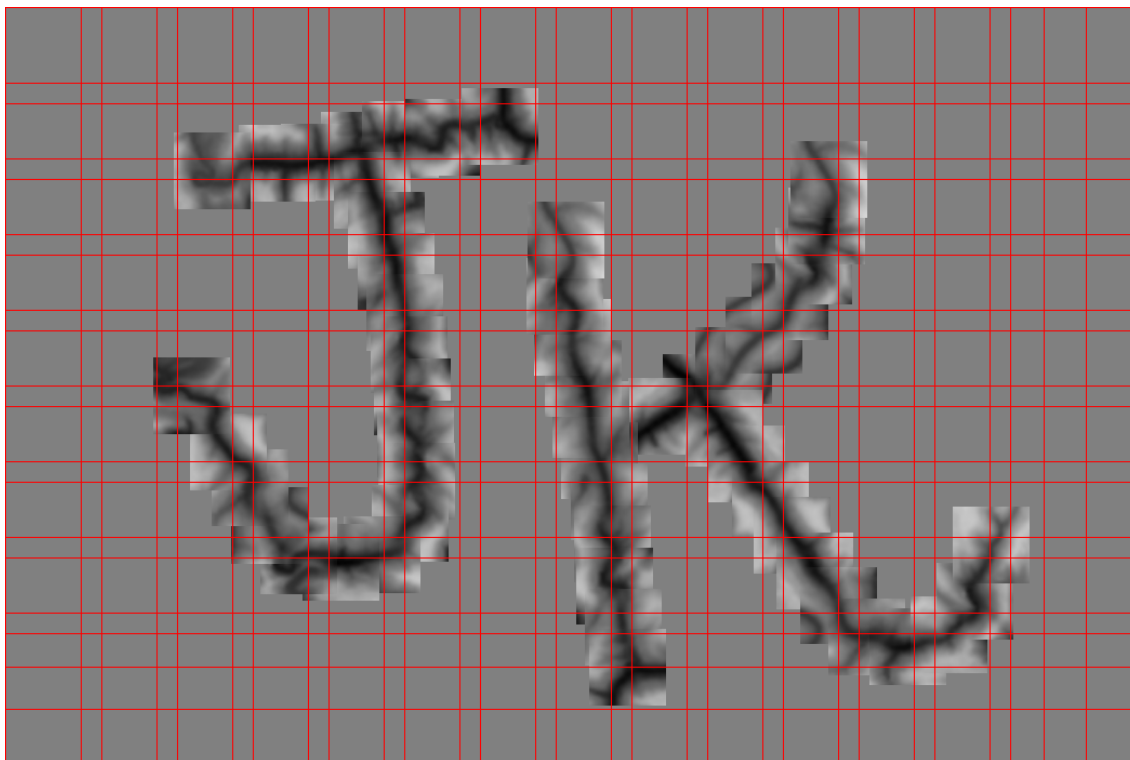


Fig. 3.18: Exemplo de definição de regiões.



O resultado final de síntese do novo terreno é apresentado na Fig. 3.19. No exemplo, o novo terreno tem 1050x700 pixels, a dimensão dos fragmentos utilizados é de 90x90 pixels com uma faixa de sobreposição de 20 pixels.

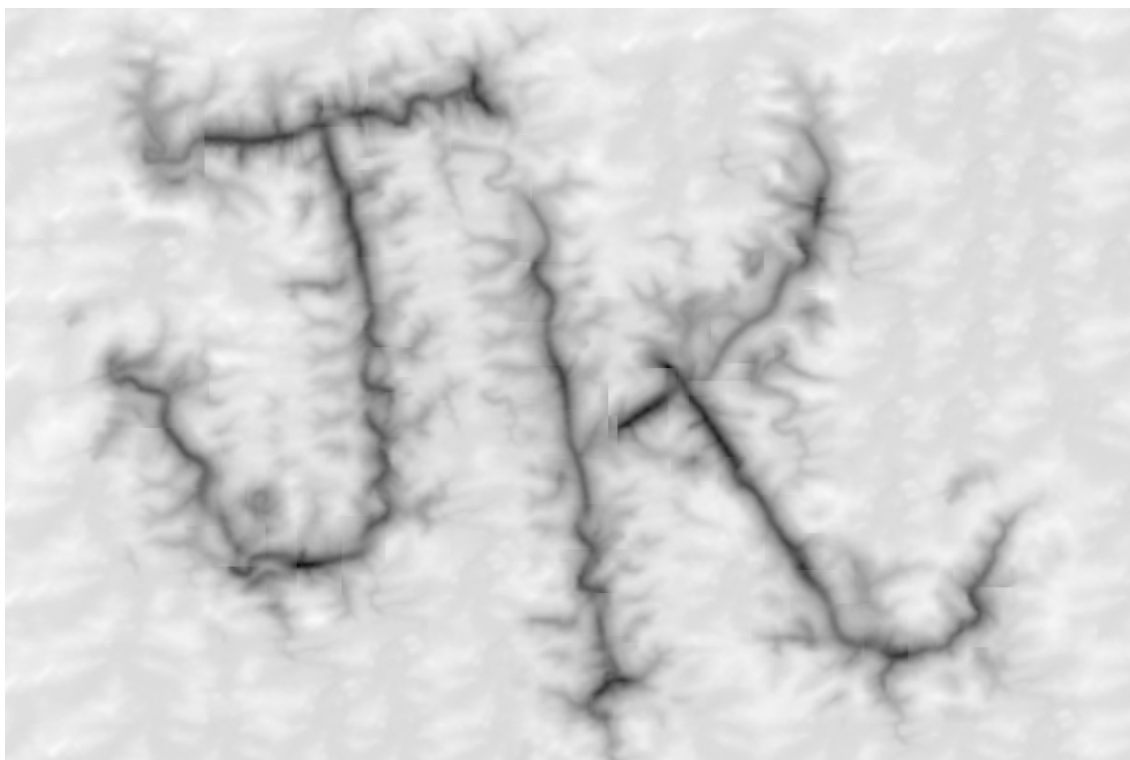


Fig. 3.19: Terreno sintetizado após Nonfeature Patch Placement, possui 1050x700 pixels, utilizando fragmentos de dimensão 90x90 pixels com uma faixa de sobreposição de 20 pixels.

### 3.3 Junção dos Fragmentos

A principal diferença entre o algoritmo de síntese baseado em pixels e o baseado em fragmentos, reside na forma de como a unidade de síntese é copiada para a saída. No algoritmo baseado em pixels, a cópia é apenas uma cópia. Quando se trata de fragmentos, o posicionamento requer uma decisão de o que fazer com possíveis áreas que já tenham sido sintetizadas.

A inserção dos fragmentos na etapa *Feature Patch Matching and Placement* recebe um tratamento diferenciado da etapa *Nonfeature Patch Placement*. Na primeira, a correspondência entre dois fragmentos inseridos sequencialmente é dada pelo próprio ângulo de combinação de cada fragmento inserido, visto que o alinhamento entre eles é guiado pelo percurso através da aresta a qual o fragmento pertence. Mesmo assim, ainda existe a necessidade de suavizar a transição entre estes fragmentos. Para isso, o valor de cada pixel presente na área de sobreposição é calculado pela média entre o valor já sintetizado e o valor do pixel em questão, ponderados pela distância em relação ao centro do novo fragmento inserido. Quanto mais próximo do centro do fragmento, mais a média se aproxima do valor do pixel a ser inserido.

Na segunda etapa, onde os fragmentos inseridos irão preencher as regiões não definidas pelo esboço do usuário, o método usado por Lin Liang et al. [5], para garantir transições suaves entre fragmentos, aplica um *blending* na área de sobreposição entre os fragmentos (Fig. 3.20), e será usado como base no processo de síntese do novo mapa de saída.

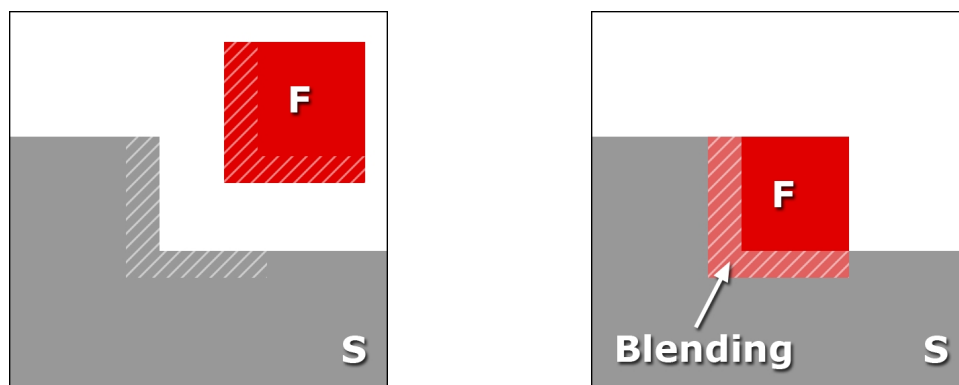


Fig. 3.20: Síntese de textura baseada em fragmento. A área cinza (S) já está sintetizada, a vermelha (F) corresponde ao fragmento inserido, e a hachurada é a área de sobreposição onde ocorre o blending.

Cada fragmento posicionado em uma determinada região da imagem é regido pela máscara que define a área de atuação da síntese. Para atenuar as possíveis diferenças existentes entre fragmentos posicionados em diferentes momentos, é aplicado o processo de expansão e smooth da máscara, que consiste em ampliar a área de atuação da síntese, permitindo uma suavização entre diferentes fragmentos posicionados na imagem.

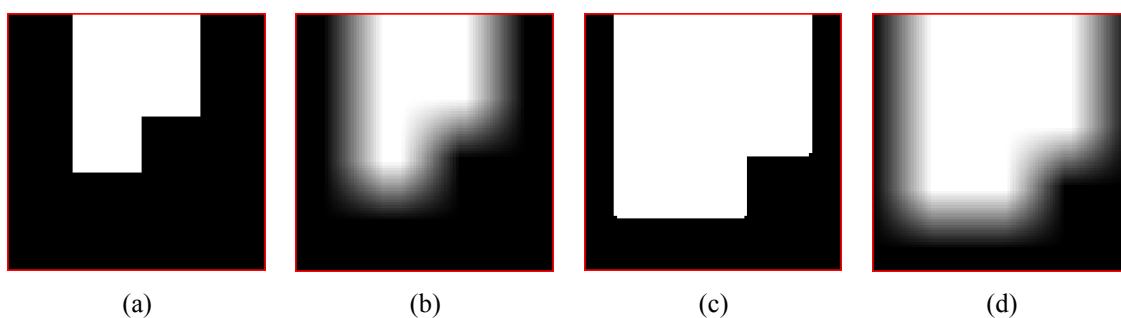


Fig. 3.21: Sequência do processo de expansão e smooth da máscara. (a) máscara inicial, (b) smooth inicial, (c) expansão e (d) smooth final.

O processo de expansão e smooth utiliza um filtro Gaussiano (Fig. 3.22b), o qual é definido pelos valores de 'x' que representa a distância da origem em relação ao eixo horizontal, 'y' que representa a distância da origem em relação ao eixo vertical e ' $\sigma$ ' que representa o desvio-padrão da distribuição Gaussiana.

Partindo da máscara original (Fig. 3.21a), é aplicada uma convolução linear com um *kernel* de distribuição Gaussiana, resultando em um borrimento das bordas, o qual avança com igual intensidade nas regiões branca e preta da máscara (Fig. 3.21b).

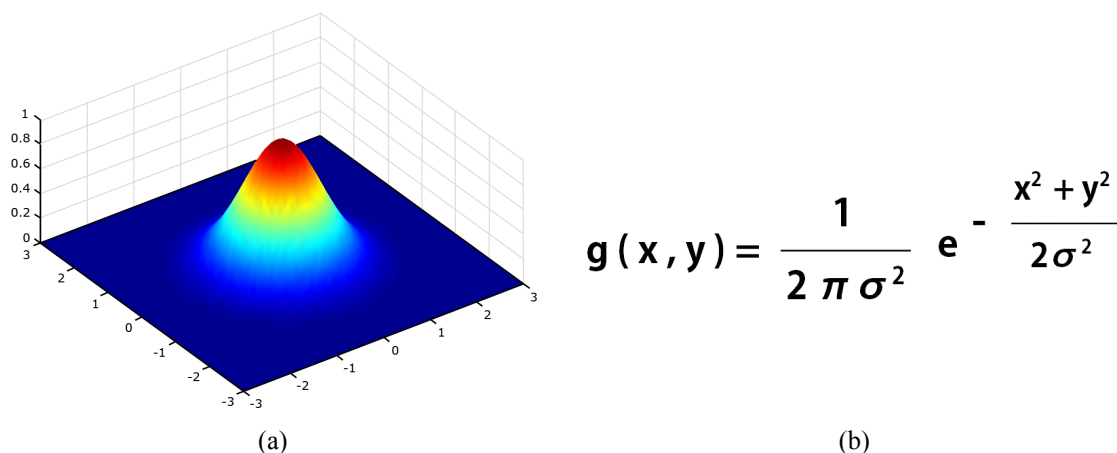


Fig. 3.22: (a) Forma da distribuição Gaussiana com média zero e desvio-padrão  $\sigma$ . (b) Produto de duas Gaussianas, considerando duas dimensões, uma em cada sentido.

Na sequência a máscara sofre um processo de binarização, onde os pixels de intensidade diferente de preto, são convertidos para branco (Fig. 3.21c), resultando no que chamamos de expansão da máscara. Novamente aplicamos uma convolução linear com um *kernel* de distribuição Gaussiana, resultando em uma máscara com borramento das bordas (Fig. 3.21d). O resultado final é exatamente uma cópia da máscara inicial, onde as áreas brancas são preservadas e externamente rodeadas por uma faixa de borramento, a qual será responsável pela suavização no momento de posicionar o novo fragmento.

Como resultado do uso do *blending*, é esperado que haja algumas regiões com um efeito de borramento, o que neste caso é perfeitamente aceitável, visto que mudanças súbitas na tonalidade de cor implicam a presença de declividades muito acentuadas no resultado final do terreno renderizado, o que em alguns momentos, não é desejável.

### 3.4 Ambiente de Desenvolvimento

A implementação do sistema fez uso da linguagem C++ com o compilador MinGW - *Minimalist GNU for Windows* (<http://www.mingw.org>). O MinGW trata-se de uma versão nativa, portada para Windows, do *GNU Compiler Collection* (GCC) e *GNU Binary Utilities*. O software inclui um conjunto de arquivos cabeçalho para a API do Windows, permitindo aos desenvolvedores usar o GCC para criar programas nativos em Windows sem a necessidade de emulação de um sistema *Unix-like*.

A IDE utilizada foi a Code::Blocks (<http://www.codeblocks.org>), por se tratar de um ambiente de desenvolvimento integrado de código aberto e multiplataforma. Desenvolvido em C++, usando wxWidgets (<http://www.wxwidgets.org>) como ferramenta de interface gráfica, sua arquitetura é orientada a *plugin* provendo aumento de suas funcionalidades. Atualmente, Code::Blocks é voltado para o desenvolvimento em C/C++, com suporte oficial nas plataformas Windows 2000/XP/Vista/7, nas principais distribuições Linux 32/64 bits e também para Mac OS X.

Parte do código C++ utilizou a biblioteca OPENCV - *Open Computer Vision Library* (<http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary>) na visualização e manipulação de imagens. Desenvolvida originalmente pela Intel no ano de 2000, trata-se de uma biblioteca multiplataforma, totalmente livre para o uso acadêmico e comercial, visando o desenvolvimento de aplicativos na área de Visão Computacional, seguindo o modelo de licença da *BSD Intel*. O OpenCV possui módulos de Processamento de Imagens e *Video I/O*, estrutura de dados, álgebra linear, interface gráfica do usuário (GUI) básica com sistema de janelas independentes, controle de mouse e teclado, além de mais de 350 algoritmos de Visão Computacional como: Filtros de imagem, calibração de câmera, reconhecimento de objetos, análise estrutural e outros.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Resultados da Síntese de Terrenos

O sistema implementado neste trabalho, requer alguns parâmetros para a correta síntese do terreno. A Tabela 4.1 traz um resumo sobre estes parâmetros:

Uso: SCT.EXE <tipo> <terreno> <esboco> <síntese> <PR> <LE> <TF> <RR> <TG> <TFS> <IS>

Parâmetro	Descrição
<tipo>	Tipo de terreno [ 0=Vales, 1=Montanhas ]
<terreno>	Arquivo TIFF do mapa de elevação
<esboco>	Arquivo TIFF do esboço do usuário
<síntese>	Arquivo TIFF do mapa de elevação resultante.
<PR>	Perfil de reconhecimento, com tamanho ( 3, 5, 7... ).
<LE>	Limites de elevação, com valores no intervalo de [ 0 , 100 ]
<TF>	Tamanho do fragmento
<RR>	Redução dos ramos
<TG>	Tamanho das regiões definidas pela grade
<TFS>	Tamanho da faixa de sobreposição entre regiões da grade
<IS>	Intensidade da suavização entre fragmentos posicionados

Tabela 4.1: Resumo dos parâmetros do sistema

Os testes foram feitos em um computador equipado com processador AMD Athlon™ TF-20 1.60 GHz com 2 GB de memória RAM. As imagens renderizadas foram obtidas utilizando o aplicativo Terragen™, sendo que o tempo de *render* variou entre 30 a 50 minutos para geração de paisagens com resolução de 1024x768.

A seguir, alguns resultados obtidos e representados por figuras e tabelas com os respectivos parâmetros utilizados, bem como o tempo de obtenção de um novo terreno sintetizado pelo sistema: Os arquivos DEM utilizados nos testes foram extraídos da região da serra do Rio Grande do Sul e da região do *Grand Canyon* no estado do Arizona nos Estados Unidos.

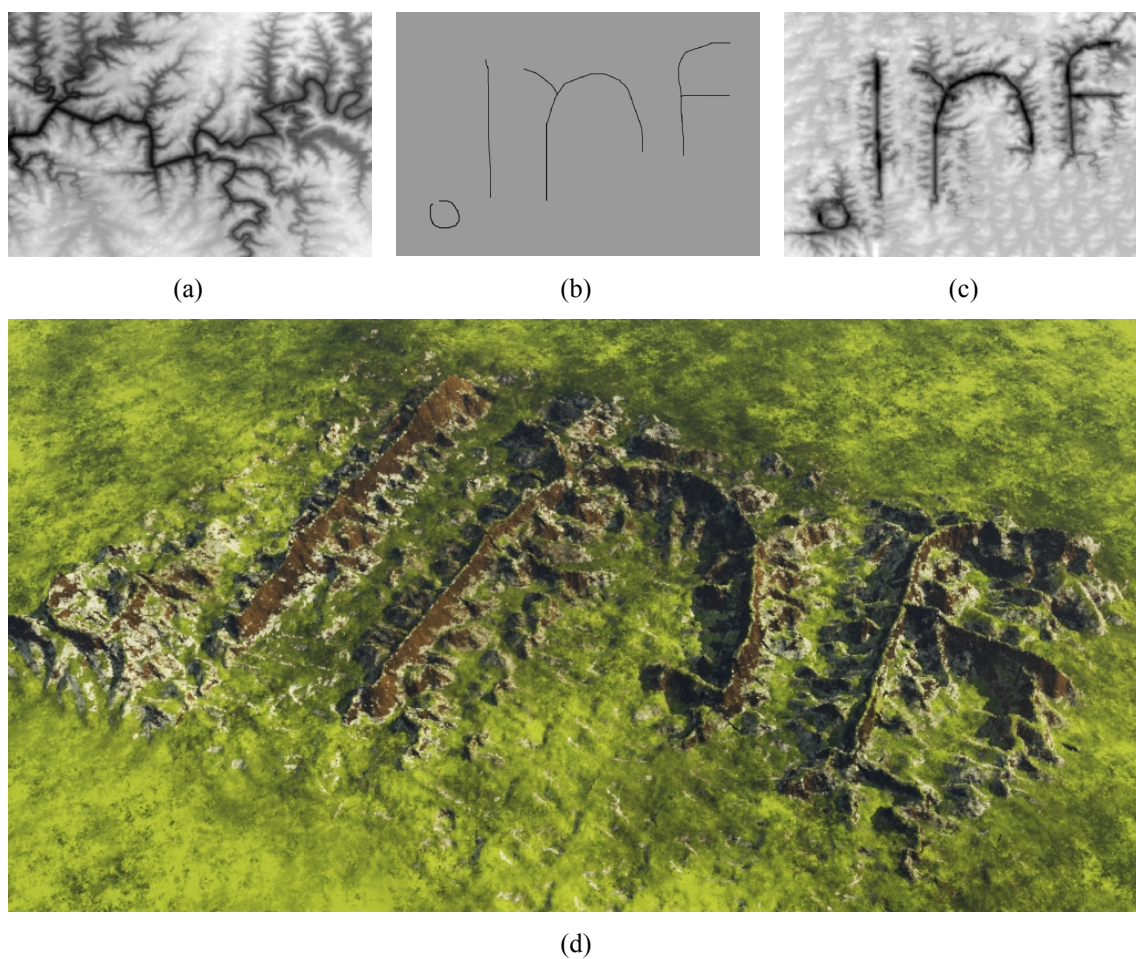


Fig. 4.1: (a) Terreno da Serra do Rio Grande do Sul, (b) Esboço do logotipo do Instituto de Informática, (c) Síntese do terreno, (d) Render do terreno sintetizado.

Parâmetros	Valores
<PR>	3
<LE>	25
<TF>	51
<RR>	25
<TG>	110
<TFS>	50
<IS>	20
Resolução do terreno	1050x700 pixels
Tempo de síntese	1:50 minutos

Tabela 4.2: Parâmetros relativos às imagens da Fig. 4.1



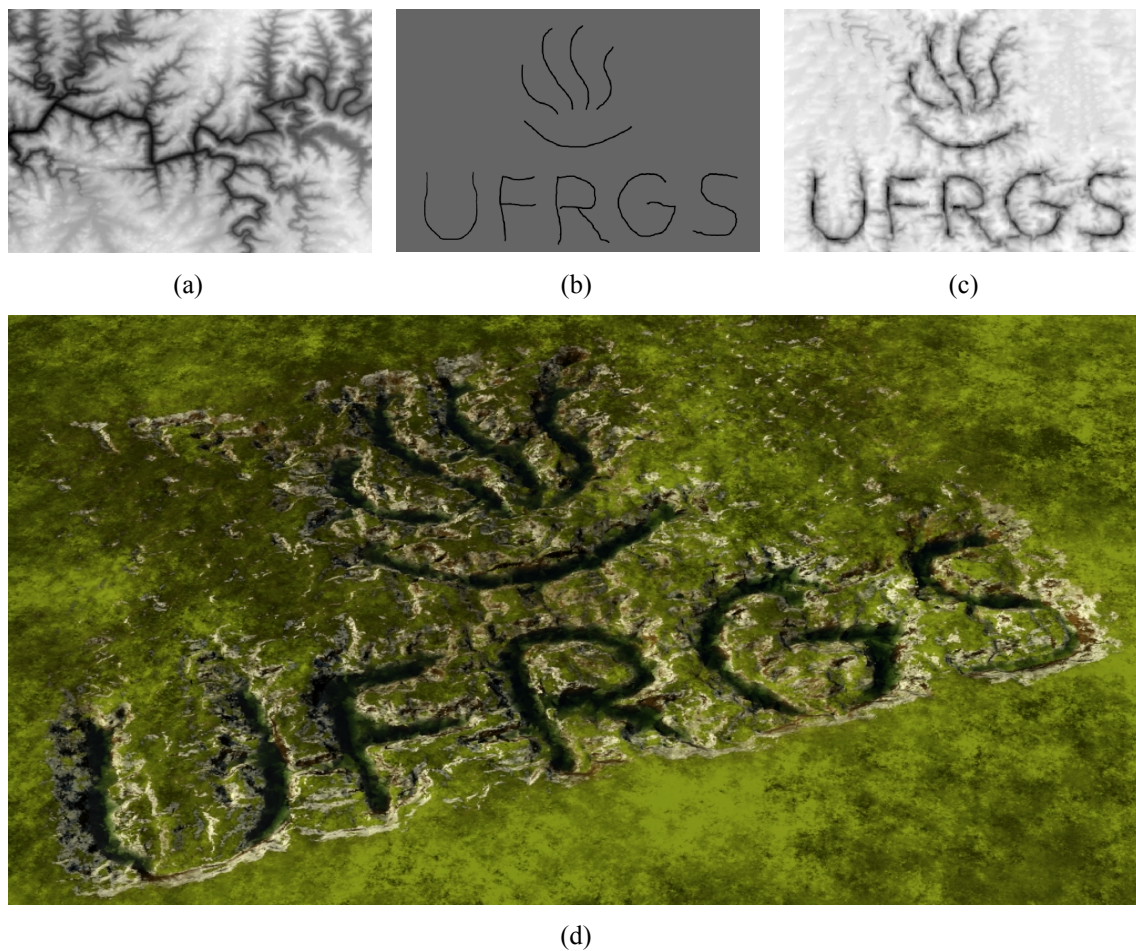


Fig. 4.2: (a) Terreno da Serra do Rio Grande do Sul, (b) Esboço do logotipo da UFRGS, (c) Síntese do terreno, (d) Render do terreno sintetizado.

Parâmetros	Valores
<PR>	3
<LE>	25
<TF>	41
<RR>	20
<TG>	80
<TFS>	50
<IS>	12
Resolução do terreno	1050x700 pixels
Tempo	4:53 minutos

Tabela 4.3: Parâmetros relativos às imagens da Fig. 4.2

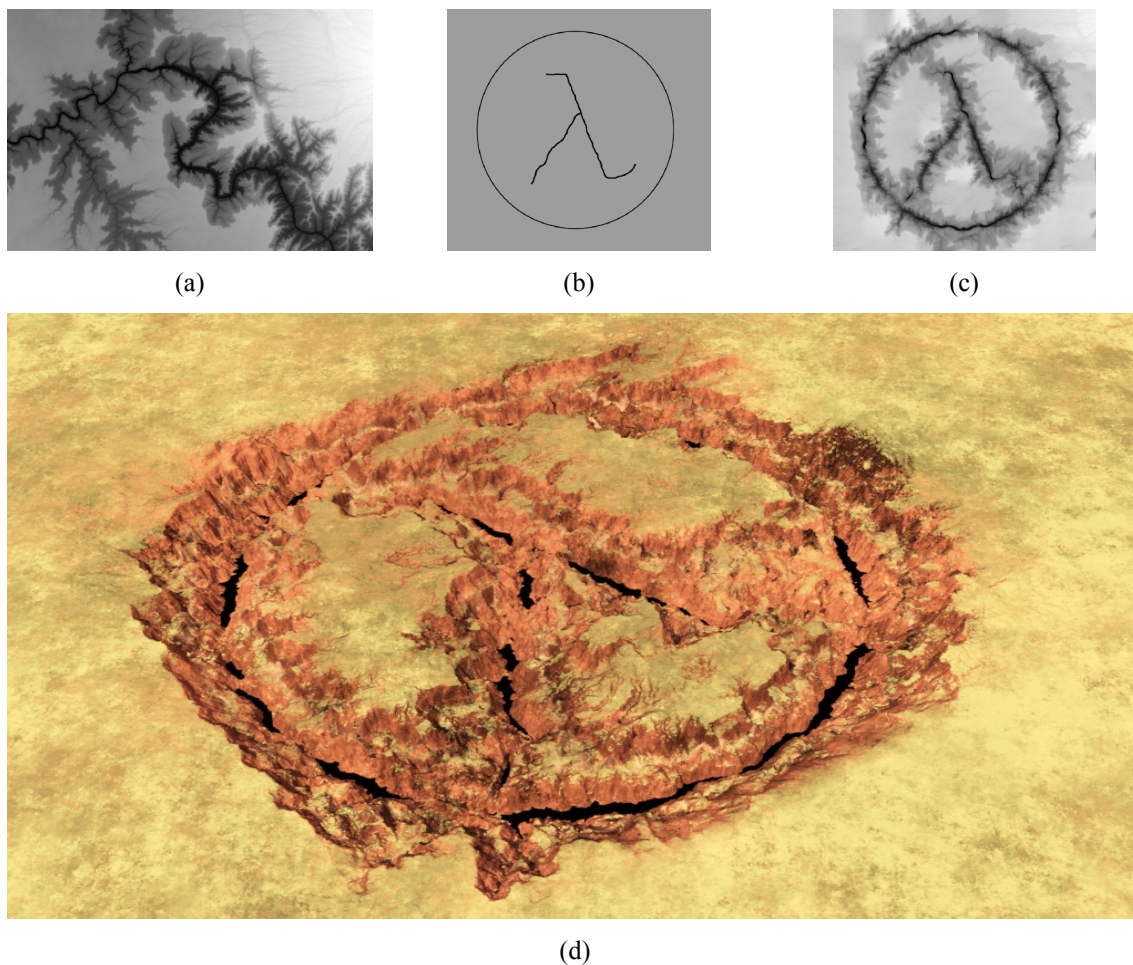


Fig. 4.3: (a) Terreno do Grand Canyon, (b) Esboço do logotipo do jogo Half Life, (c) Síntese do terreno, (d) Render do terreno sintetizado.

Parâmetros	Valores
<PR>	3
<LE>	20
<TF>	71
<RR>	20
<TG>	130
<TFS>	52
<IS>	28
Resolução do terreno	765x700 pixels
Tempo	0:44 minutos

Tabela 4.4: Parâmetros relativos às imagens da Fig. 4.3

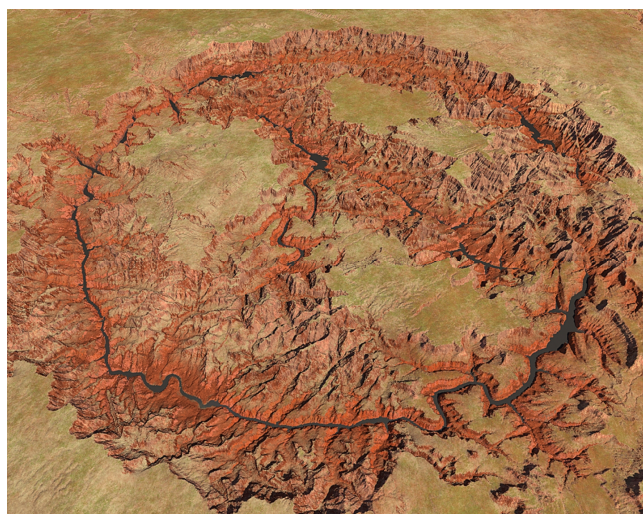


Fig. 4.4: Resultado obtido no trabalho de Zhou, utilizando terreno e esboço semelhantes aos utilizados neste trabalho.



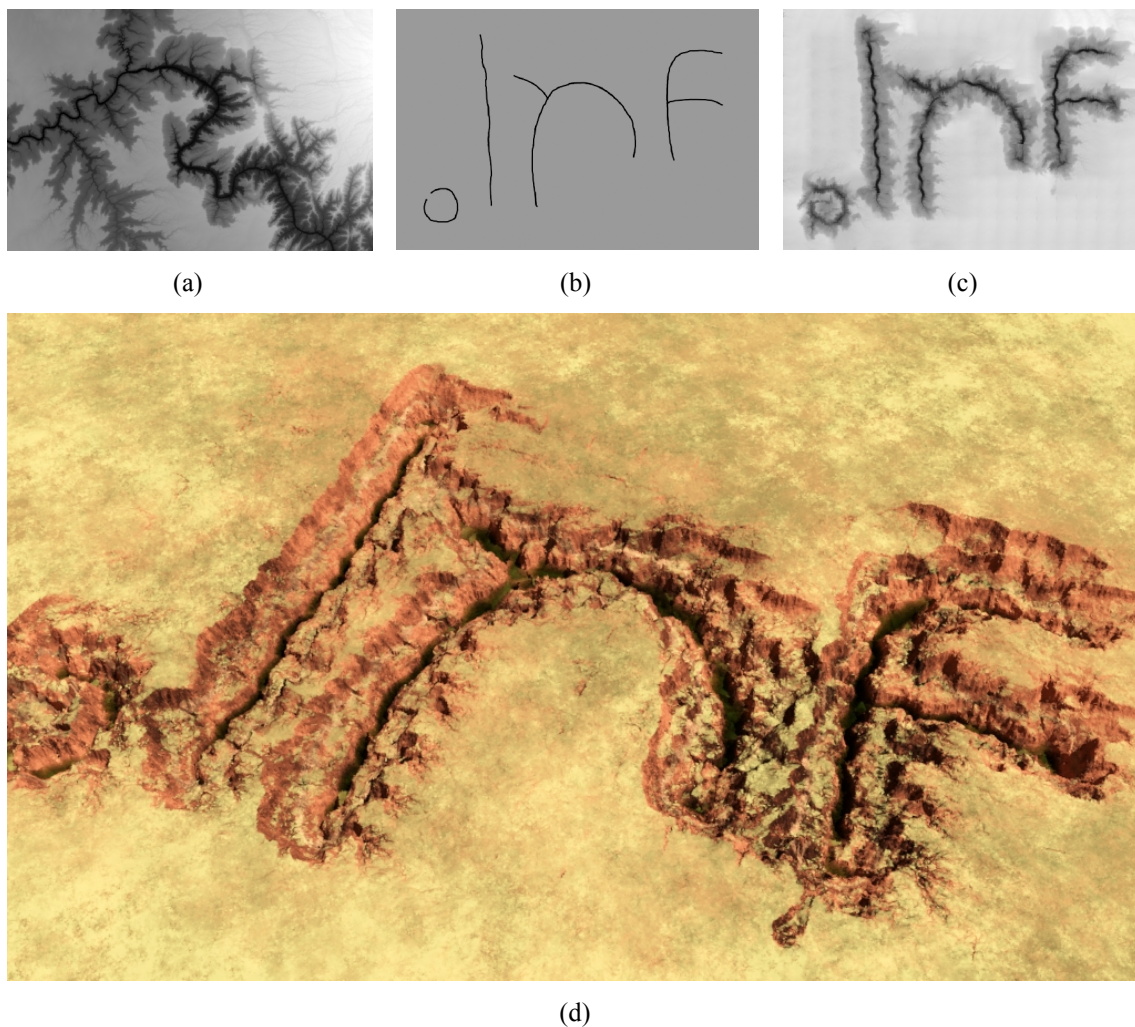


Fig. 4.5: (a) Terreno do Grand Canyon, (b) Esboço do logotipo do Instituto de Informática, (c) Síntese do terreno, (d) Render do terreno sintetizado.

Parâmetros	Valores
<PR>	3
<LE>	20
<TF>	71
<RR>	20
<TG>	100
<TFS>	42
<IS>	28
Resolução do terreno	1050x700 pixels
Tempo	1:35 minutos

Tabela 4.5: Parâmetros relativos às imagens da Fig. 4.5

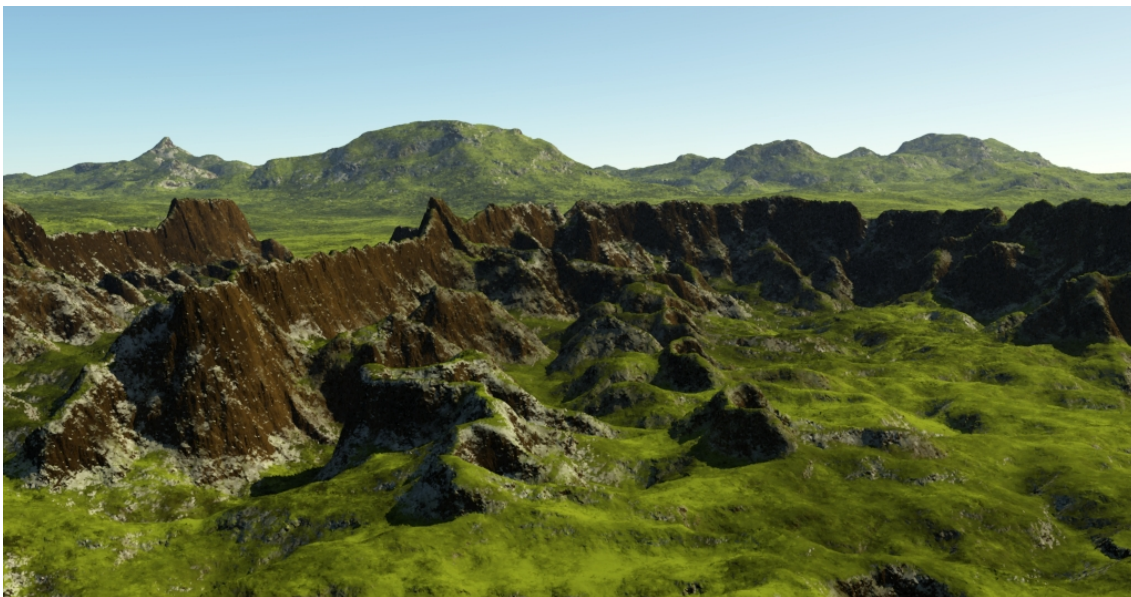


Fig. 4.6: Render obtido a partir do esboço do logotipo do Instituto de Informática da UFRGS.



Fig. 4.7: Render obtido a partir do esboço do logotipo da UFRGS.



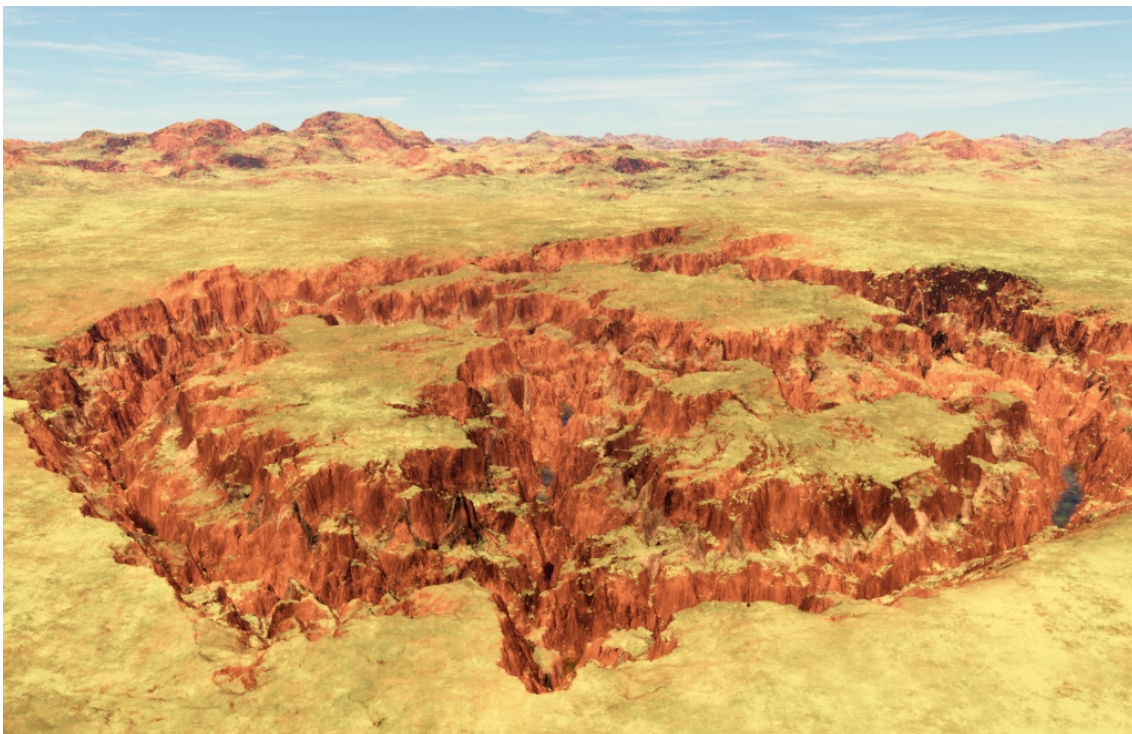


Fig. 4.8: Render obtido a partir do esboço do logotipo do jogo Half Life.



Fig. 4.9: Render obtido a partir do esboço do logotipo do Instituto de Informática da UFRGS.

A seguir, apresentamos alguns resultados obtidos neste trabalho considerando as variações do tamanho dos fragmentos (TF), tamanho das regiões definidas pela grade (TG), tamanho da faixa de sobreposição entre regiões da grade (TFS) e intensidade da suavização entre fragmentos posicionados (IS):

O exemplo da Fig. 4.10 demonstra diferentes resultados de síntese, a partir do terreno (Fig. 4.10a) e do esboço (Fig. 4.10b).

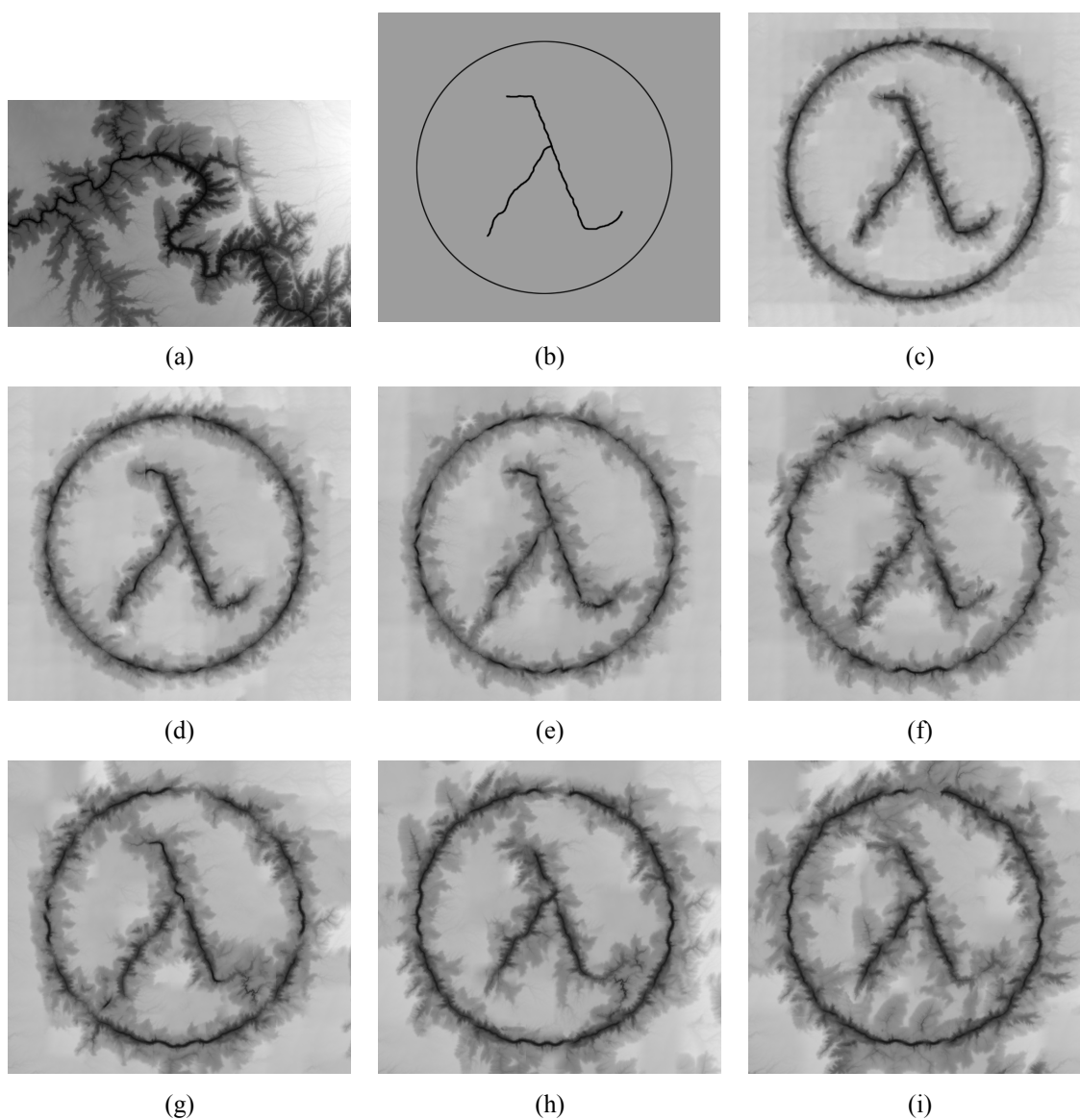


Fig. 4.10: Diferentes resultados obtidos com a síntese de terrenos a partir do (a) Terreno do Grand Canyon e do (b) Esboço do logotipo do jogo Half-Life.

A seguir, uma tabela comparativa dos parâmetros utilizados para gerar os terrenos apresentados na Fig. 4.10.

	Fig. 4.10c	Fig. 4.10d	Fig. 4.10e	Fig. 4.10f	Fig. 4.10g	Fig. 4.10h	Fig. 4.10i
PR	3	3	3	3	3	3	3
LE	20	20	20	20	20	20	20
TF	31	41	51	61	71	81	91
RR	20	20	20	20	20	20	20
TG	58	76	94	112	130	150	168
TFS	23	30	38	45	52	60	67
IS	12	16	20	22	26	30	34
Resolução do terreno	765x700 pixels	765x700 pixels	765x700 pixels	765x700 pixels	765x700 pixels	765x700 pixels	765x700 pixels
Quantidade de fragmentos	440	272	182	132	90	72	56
Tempo de síntese	142 s	92 s	86 s	71 s	45 s	40 s	37 s

Tabela 4.6: Parâmetros utilizados na síntese dos terrenos apresentados na Fig. 4.10.

É possível observar no exemplo da Fig. 4.10 que os detalhes sintetizados em torno do eixo principal do esboço aumentam de forma proporcional ao tamanho do fragmento (TF). Um resultado visualmente semelhante ao terreno original (Fig. 4.10a) aparece a partir da Fig. 4.10g, onde o entorno do eixo do rio começa a agregar detalhes das encostas do terreno. Em contrapartida, fragmentos de tamanho maior acabam por descaracterizar o resultado definido pelo traçado do esboço.

Existe uma relação entre os valores do tamanho do fragmento (TF), do tamanho das regiões definidas pela grade (TG), do tamanho da faixa de sobreposição entre regiões da grade (TFS) e da intensidade da suavização entre fragmentos posicionados (IS). A idéia é começar com um valor de TF que seja suficiente para abranger os detalhes no entorno do eixo dos traços curvilíneos presentes no terreno original, quando é então feita a síntese parcial do terreno seguindo as linhas do esboço. Quando passamos para a etapa de síntese das áreas vazias, o fragmento cresce de tamanho seguindo o valor de TG, que é praticamente dobrado de tamanho em relação ao TF. O TFS é definido com um valor próximo ou maior do que a metade do valor de TG, com o objetivo de encontrar o fragmento que melhor combina com áreas já sintetizadas no novo terreno. O IS também é definido com um valor próximo da metade do valor de TFS, e é responsável pelo *blending* que atenua o posicionamento de novos fragmentos sobre as áreas já sintetizadas. Portanto, o custo computacional tem relação direta com a quantidade de fragmentos necessários para cobrir toda a área do novo terreno.

O exemplo da Fig. 4.11 Fig. 4.10 demonstra diferentes resultados de síntese, a partir do terreno (Fig. 4.11a) e do esboço (Fig. 4.11b).

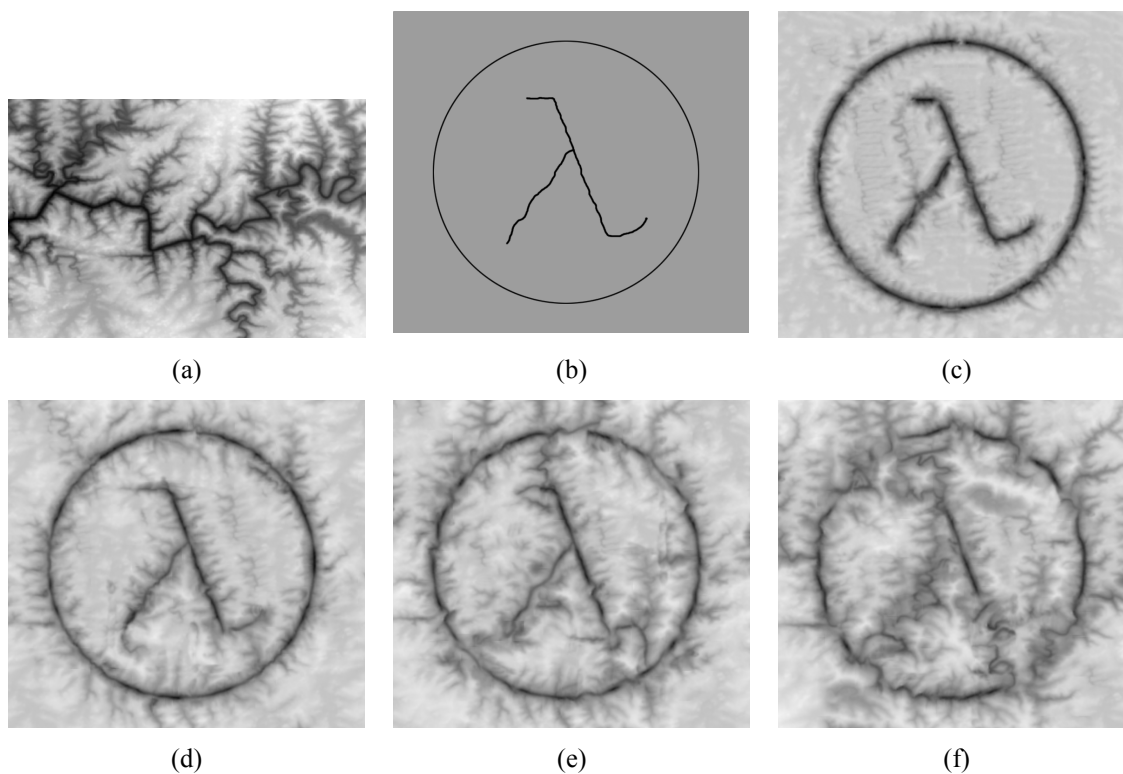


Fig. 4.11: Diferentes resultados obtidos com a síntese de terrenos a partir do (a) Terreno da Serra Gaúcha com parte do leito do Rio das Antas e do (b) Esboço do logotipo do jogo Half-Life.

	Fig. 4.11c	Fig. 4.11d	Fig. 4.11e	Fig. 4.11f
PR	3	3	3	3
LE	25	25	25	25
TF	31	51	71	91
RR	16	24	34	44
TG	50	90	130	170
TFS	23	30	38	45
IS	26	46	66	86
Resolução do terreno	765x700 pixels	765x700 pixels	765x700 pixels	765x700 pixels
Quantidade de fragmentos	960	288	132	90
Tempo de síntese	287 s	111 s	59 s	54 s

Tabela 4.7: Parâmetros utilizados na síntese dos terrenos apresentados na Fig. 4.11

É possível observar no exemplo da Fig. 4.11 que o aumento demasiado no tamanho do fragmento, acarreta na perda da percepção do traçado do esboço, assim como o tamanho reduzido do fragmento resulta em um terreno com o traçado bem definido, porém com a perda dos detalhes do entorno.

Em ambos os exemplos analisados, a percepção de um bom resultado é baseada em uma avaliação subjetiva dos resultados. Os parâmetros informados ao sistema devem partir de um tamanho de fragmento que abranja os detalhes presentes no entorno do eixo dos traços curvilíneos do terreno original. O crescimento do tamanho do fragmento na etapa de preenchimento das áreas vazias e o tamanho da faixa de sobreposição devem ser definidos de forma que o processo de combinação, entre o fragmento a ser inserido e a área já sintetizada, seja capaz de definir o novo fragmento com boa precisão. A intensidade da suavização entre os fragmentos posicionados é definida de acordo com o grau de precisão resultante do processo de combinação, sendo que valores muito altos atenuam estas diferenças, porém tem um efeito maior de borramento na imagem.



## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um sistema de síntese terrenos, partindo de modelos digitais de elevação e de especificações definidas pelo usuário. Um simples desenho, com traços que representam um símbolo, uma letra ou até mesmo uma palavra, serve como referência para a criação de um novo terreno, que preserva as características de relevo do terreno original e apresenta entidades do relevo posicionadas de acordo com o desejo do usuário.

O recente artigo de Zhou et al.[1] serviu como referência para o desenvolvimento e implementação deste trabalho, que preservou a idéia principal do autor, porém simplificando alguns dos passos com o uso de técnicas de menor custo computacional que, pela sua simplicidade, não chegaram a comprometer os resultados obtidos

A dificuldade em identificar características de relevo em terrenos desérticos ou em terrenos com padrões de traços extremamente complicados foi um dos problemas relatados pelo autor e que também pôde ser observada neste trabalho. Terrenos caracterizados por relevo de alta declividade, como rios que correm por entre as encostas de um vale, são mais facilmente identificados pelo método e apresentaram os melhores resultados.

Uma idéia a ser desenvolvida em trabalhos futuros é a de possibilitar a intervenção do usuário no resultado final do algoritmo PPA. Muitas vezes, em função de características inerentes ao terreno ou até mesmo algum tipo de ruído na obtenção do mapa de elevação, a árvore resultante apresenta algumas discontinuidades na cadeia de segmentos que a compõem, ou até mesmo ramificações indesejáveis que poderiam ser facilmente resolvidas. Isso traria a possibilidade de impor a presença, ou não, de determinados fragmentos no processo de posicionamento sobre o traçado determinado pelo esboço do usuário.

## REFERÊNCIAS

- [1] Howard Zhou, Jie Sun, Greg Turk, James M. Rehg, "Terrain Synthesis from Digital Elevation Models," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 13, no. 4, pp. 834-848, 2007.
- [2] Y.-C. Chang, G.-S. Song, and S.-K. Hsu, "Automatic Extraction of Ridge and Valley Axes Using the Profile Recognition and Polygon-Breaking Algorithm," *Computer and Geosciences*, vol. 24, no. 1, pp. 83-93, 1998.
- [3] M. Ashikhmin, "Synthesizing Natural Textures," *Proc. Symp. Interactive 3D Graphics*, pp. 217-226, 2001.
- [4] Li-Yi Wei, Sylvain Lefebvre, Vivek Kwatra, Greg Turk, "State of the Art in Example-based Texture Synthesis", *EG STAR*, pp. 93-117, 2009.
- [5] Lin Liang, Ce Liu, Ying-Qing Xu, Baining Guo, Heung-Yeung Shum, "Real-Time Texture Synthesis by Patch-Based Sampling", *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 20, pp. 127-150, 2001.
- [6] B.B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman, 1982.
- [7] A. Fournier, D. Fussel, and L. Carpenter, "Computer Rendering of Stochastic Models," *Comm. ACM*, vol. 25, no. 6, pp. 371-384, 1982.
- [8] G.S.P. Miller, "The Definition and Rendering of Terrain Maps," *Proc. 13th Ann. Conf. Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '86)*, vol. 20, no. 4, pp. 39-48, 1986.
- [9] J.P. Lewis, "Generalized Stochastic Subdivision," *ACM Trans. Graphics*, vol. 6, no. 3, pp. 167-190, 1987.
- [10] R. Szeliski and D. Terzopoulos, "From Splines to Fractals," *Proc. 16th Ann. Conf. Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '89)*, pp. 51-60, 1989.

- [11] A.D. Kelley, M.C. Malin, and G.M. Nielson, "Terrain Simulation Using a Model of Stream Erosion," Proc. 15th Ann. Conf. Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '88), pp. 263-268, 1988.
- [12] F.K. Musgrave, C.E. Kolb, and R.S. Mace, "The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains," Proc. 16th Ann. Conf. Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '89), vol. 23, no. 3, pp. 41-50, 1989.
- [13] J. Brosz, F.F. Samavati, and M.C. Sousa, "Terrain Synthesis By- Example," Proc. First Int'l Conf. Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP '06), 2006.
- [14] J.-P. Lewis, "Texture Synthesis for Digital Painting," Proc. 11th Ann. Conf. Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '84), pp. 245-252, 1984.
- [15] Aldus Developers Desk, TIFF Revision 6.0, 121pp.,1992.
- [16] GeoTIFF Format Specification, GeoTIFF Revision 1.0, 95pp, 2000.
- [17] TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil:  
<http://www.dsr.inpe.br/topodata>
- [18] SRTM - Shuttle Radar Topography Mission:  
<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm>
- [19] USGS - United States Geological Survey: <http://www.usgs.gov>
- [20] Google Earth™ : <http://earth.google.com>
- [21] Terragen™ : <http://www.planetside.co.uk>