

MELHORIAS NA BIBLIOTECA PARA DETECÇÃO DE RELEVOS

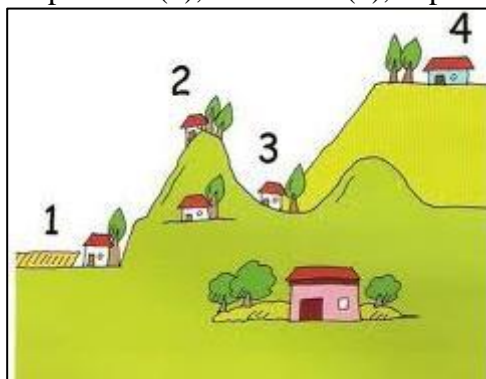
Lucas Eduardo Schlögl

Prof. Dalton Solano dos Reis – Orientador

1 INTRODUÇÃO

Segundo o dicionário Michaelis em sua versão *online*, o significado de relevo são as diferentes formas da superfície terrestre, caracterizadas por saliências e depressões. Já para Pena (2016), o relevo é onde as transformações geológicas se expressam mais nitidamente. Zoupantis (2009) indica que o relevo é dividido em planície, montanha, depressão e planalto, que são mostradas de acordo com a Figura 1. Zoupantis (2009) define como planície áreas mais baixas e que geralmente ficam no nível do mar, montanhas como terrenos bastante elevados, depressão sendo áreas abaixo do nível do mar ou das outras superfícies planas e planalto como áreas planas em altitudes mais altas que o nível do mar sendo separadas por elevações íngremes.

Figura 1 - Exemplo de planície (1), montanha (2), depressão (3) e planalto (4)



Fonte: Zoupantis (2009).

De acordo com Campos (2008) o relevo pode ser representado em mapas utilizando três métodos: pontos altimétricos, curvas de nível e cores hipsométricas. Na representação através de pontos altimétricos, a altitude é o ponto representado do relevo, sendo representado por um texto, com isso, o relevo é classificado pela variação da altitude, não incluindo a declividade, que é a diferença entre duas altitudes. Já a representação por curvas de níveis é descrita em função das suas duas principais características a altitude e declividade. Na representação através de cores hipsométricas, a cada intervalo de altitude é atribuída uma coloração (CAMPOS, 2008). Para Mendonça (2007), cores mais escuras normalmente representam altitudes maiores e cores mais claras altitudes mais baixas.

Para se obter essas informações do relevo, é necessário realizar a extração das informações geométricas de uma cena e com isso, para que ele possa ser construído

computacionalmente. Essa reconstrução computacional das informações geométricas tridimensionais vem sendo estudada pela área de visão computacional. As técnicas de extração de informações geométricas a partir de ambientes podem ser classificadas em técnicas passivas e técnicas ativas. As técnicas ativas consistem em introduzir algum tipo de sinal no ambiente e as informações relativas à geometria daquele ambiente são extraídas através do comportamento do sinal. Já as técnicas passivas consistem em apenas coletar imagens e através da análise dessas imagens, tentam estimar ângulos, distâncias e posições (FERNANDES, 2005, p. 6). Dentro das técnicas ativas, a triangularização ativa é, segundo Fernandes (2005, p. 10), o método mais antigo para medir a profundidade dos pontos no espaço e é uma das técnicas mais comuns. Essa técnica utiliza-se da lei dos senos para medir ângulos e distâncias.

De acordo com Vasconcelos (2009, p. 11), em uma aplicação que realizará diversos cálculos matemáticos por segundo, é recomendada a utilização de processamento através da placa de processamento gráfico (GPU). Para garantir que a biblioteca para detecção de relevos funcione em tempo real, existe a necessidade de garantir uma taxa de quadros por segundo na faixa de 30 a 60 (ZAAIJER, 2013, p. 32). Isso se deve ao fato de que segundo a NVIDIA (2017) a taxa de processamento por segundo de uma GPU é muito superior à de um processador (CPU).

Nesse trabalho é proposto melhorias na biblioteca para detecção de relevos proposta por Storz (2017), onde é realizada a detecção e reconstrução dos relevos utilizando a triangularização ativa. A principal melhoria é no processo de captação de imagem, deixando a biblioteca menos suscetível a erros derivados de problemas de iluminação. Para comparar os resultados, será utilizada a análise de incerteza.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver melhorias no projeto da biblioteca de detecção de relevos apresentado por Storz (2017).

Os objetivos específicos são:

- a) realizar experimentação da iluminação no processo de captura da imagem no trabalho de Storz (2017) fazendo com que a biblioteca consiga detectar relevos em ambientes com iluminação adversa (excesso ou falta de iluminação);
- b) melhorar o desempenho da biblioteca ao gerar o modelo de terreno;
- c) utilizar a análise de incerteza para avaliar se o desempenho desse projeto proposto é melhor do que o proposto por Storz (2017).

2 TRABALHOS CORRELATOS

Neste capítulo, são apresentados três trabalhos correlatos que possuem características semelhantes a proposta por esse trabalho. Na seção 2.1, é descrito o trabalho realizado por Li, Straub e Prutzsch (2004), que demonstra o processo para a detecção de relevos utilizando a triangularização ativa. A seção 2.2 apresenta o trabalho realizado por Zaaier (2013), que demonstra a utilização de processamento em GPU para obter melhoras no processamento da detecção de relevos. Já na seção 2.3 o trabalho realizado por Mohan et al. (2011) demonstra uma abordagem diferente das que vinham sendo apresentadas na maioria dos trabalhos sobre técnicas de detecção de relevos passivas tendo em vista a situação adversa do cenário apresentado.

2.1 FAST SUBPIXEL ACCURATE RECONSTRUCTION USING COLOR STRUCTURED LIGHT

Li, Straub e Prutzsch (2004, p. 1) demonstram a criação de um método para a reconstrução de uma cena através da triangularização ativa, utilizando apenas uma imagem como a entrada dos dados, aumentando a robustez contra erros e alcançando uma melhor detecção das bordas. O trabalho utiliza como base para a triangularização uma câmera fotográfica como receptora da imagem e um projetor como emissor de luz estruturada (Figura 2). Segundo Li, Straub e Prutzsch (2004, p. 1), o projetor emite um conjunto de linhas sobre o objeto alvo e a partir desse ponto, a câmera detecta a distorção das linhas, usando isso como base para extrair informações como a profundidade.

Figura 2 - Projetor e câmera utilizada para a triangularização



Fonte: Li, Straub, Prutzsch (2005).

Do jeito que o trabalho foi projetado, é necessário realizar uma calibração do algoritmo, fornecendo dados explícitos como orientação e posição no espaço do projetor e da câmera antes que qualquer triangularização seja realizada. A partir da calibração, é necessário realizar a projeção de um padrão nos objetos da cena para que a triangularização tenha início. O artigo utiliza como padrão de projeção a sequência de De Bruijn

$$\mathbf{p}_i = (p_i^r, p_i^g, p_i^b) \in \{0,1\}^3$$

que consiste em projetar várias linhas em diferentes cores baseado em um conjunto de números (LI, STRAUB e PRAUTZSCH, 2004, p. 2).

Na detecção das bordas, entre as linhas da sequência de De Bruijn, surgem alguns problemas, como: luminosidade desfavorável, a textura dos objetos, qualidade da câmera e baixa resolução do projetor. O trabalho sugere limpar a imagem em três etapas (LI, STRAUB e PRAUTZSCH, 2004, p. 2):

- a) cuidar do fenômeno chamado *crosstalk*, que é causado quando a luz ambiente interfere na luz emitida pelo projetor. Para corrigir, realiza-se uma normalização das imagens através de transformações lineares, para que a cor branca e preta realmente sejam essas cores;
- b) remove-se áreas escuras da imagem, onde a intensidade da luz é menor que o limite definido pelo usuário;
- c) um processo de suavização é aplicado se a imagem ainda contém muito ruído. Assumindo que a imagem contém um ruído Gaussiano, utiliza-se o filtro *low-pass* para redução do ruído.

Após reduzir os ruídos da imagem a detecção das bordas é realmente iniciada. Primeiramente é utilizado um algoritmo de programação dinâmica para a detecção das bordas que no final, gera uma matriz de custos. Com isso, consegue-se a rotulação das imagens projetadas (LI, STRAUB e PRAUTZSCH, 2004, p. 4).

Ao detectar as bordas com sucesso, é necessário calcular a profundidade das mesmas, e para isso, um padrão foi projetado no objeto. Com a projeção, é possível calcular as intersecções geradas com a borda e que acaba se transformando em uma *ray plane intersection*, que é facilmente computadorizada (LI, STRAUB e PRAUTZSCH, 2005, p. 4).

Os resultados obtidos por Li, Straub e Prautzsch (2005, p. 5) demonstram que houve uma grande melhora na precisão dos *subpixels*, assim como melhorias no algoritmo que foi para o pós-processamento utilizando a programação dinâmica. A única desvantagem citada, é que há parâmetros que precisam ser configurados manualmente e há uma diminuição nas

bordas detectadas. Segundo Li, Straub e Prautzsch (2005, p. 6), para se obter uma melhora nos resultados obtidos é sugerido que a interação com humanos no processo seja diminuída, principalmente na parte da calibração do projetor e da câmera, além disso, calcular automaticamente o limite de corte de cores baseando-se nas estatísticas de cores e intensidades de luz presentes na cena.

2.2 GPU BASED GENERATION AND REAL-TIME RENDERING OF SEMI-PROCEDURAL TERRAIN USING FEATURES

Em Zaaier (2013, p. 5), o foco é a geração e renderização de terrenos de larga escala e para conseguir uma solução em tempo real, utilizou-se a performance da GPU. Para realizar a programação em tempo real, o trabalho utilizou OpenGL para renderizar o terreno e OpenCL para a geração do terreno.

Para apresentar ao usuário, o trabalho utiliza uma interface gráfica básica, baseada em um sistema de camadas, onde o usuário escolhe um determinado tipo de terreno (montanha, rio e etc.) que deve ser renderizado (ZAAIER, 2013, p. 5).

De acordo com Zaaier (2013, p. 7), devido a limitações de armazenamento e renderização, gerar e apresentar os detalhes do terreno por completo ao mesmo tempo não seria possível, tendo em vista que se houver a representação de um terreno de 4 por 4 km que aceita detalhes do terreno até 25 centímetros de altura, a capacidade de armazenamento requerida seria próxima a 1 GB. Tendo em vista essa alta quantidade de dados, a GPU é uma ótima plataforma para realizar o processamento dessa quantidade de dados.

Em seus resultados obtidos, Zaaier (2013, p. 32) afirma que a performance obtida em um sistema desse porte é muito importante, para isso, as aplicações em tempo real precisam manter uma taxa de 30 a 60 frames por segundo, levando um tempo computacional de 16 a 33ms para o processamento de cada frame para manter uma aplicação utilizável. Além disso, o autor conclui que por limitações do *kernel* do OpenCL e OpenGL, o processamento para a renderização não pode ser em paralelo, mesmo que haja uma segunda GPU disponível.

Zaaier (2013, p. 42) ainda afirma que a GPU ainda não é uma boa opção para terrenos realísticos, porém a geração em tempo real através da GPU se explorado novas técnicas, o processamento e a geração de terrenos tem um ótimo potencial. Como trabalhos futuros, Zaaier (2013, p. 42) afirma que é possível melhorar as etapas da geração do terreno, principalmente na performance e na qualidade final do terreno gerado. Também é indicado para se estudar alternativas que não sejam tão custosas computacionalmente na parte de

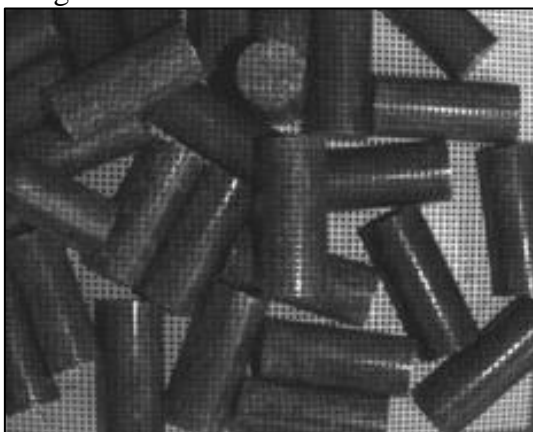
geração das malhas de pontos (*mesh*) e junção de múltiplas imagens para análise dos pontos em comum.

2.3 3D SCANNING OF OBJECT SURFACES USING STRUCTURED LIGHT AND SINGLE CAMERA IMAGE

Mohan et al. (2011, p. 1) apresentam um sistema para a detecção de objetos em uma cena com a finalidade de separação de lixo, tendo em vista que o uso de robôs nas fábricas, com essa finalidade, reduzirá custos para as empresas. Para detecção de relevos, os autores utilizam a técnica ativa baseada em luz estruturada, que utiliza LEDs para emitir um padrão na cena e uma câmera para analisar a mudança desse padrão.

Tendo em vista que em um cenário de separação de lixo a iluminação ambiente não é constante e existem diversos objetos com propriedades de reflexão da luz diferentes, essas características interferem no padrão que é projetado na cena, causando problemas. Os padrões baseados em cores têm problemas devido à grande incerteza do grau de reflexão dos itens, já os baseados em *time-multiplexed* acabam sendo muito lentos e necessitam de várias imagens. Porém, segundo o autor, o padrão baseado em palavras é o mais interessante para a solução. Após essa análise, o trabalho propôs a projetar um padrão de grades sendo projetados por emissores de luz LED, que pode ser visto na Figura 3 (MOHAN et al., 2011, p. 1).

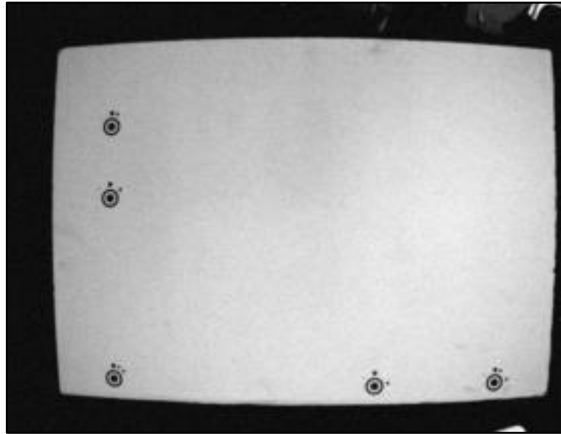
Figura 3 - Padrão emitido sobre o lixo



Fonte: Mohan et al. (2011).

Antes de emitir o padrão e começar a realizar o processo de extração das informações geométricas, o trabalho demonstra a realização de um processo fundamental, o de calibração do aparelho. Para realizar essa calibração, os autores utilizaram um padrão impresso em uma folha e colocaram diante da câmera para que ela identificasse aqueles pontos e configurasse os parâmetros necessários para a medição correta das formas geométricas. O padrão proposto pode ser visto na Figura 4.

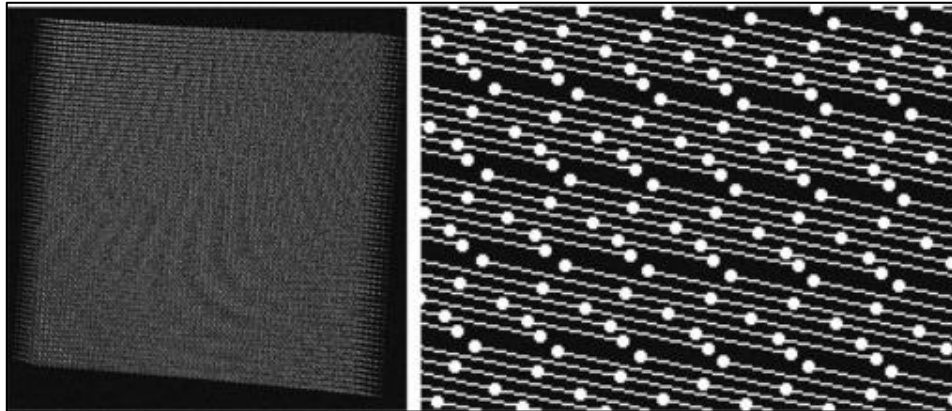
Figura 4 - Marcador de calibração



Fonte: Mohan et al. (2011).

Após a calibração, determinar o padrão que será projetado sobre a cena é ainda mais importante, tendo em vista que são extraídas informações de deformação em cima deste padrão. Neste trabalho, como a distância Z (distância entre câmera e cena) já foi medida pela inserção do marcador na cena, para detectar a profundidade de um ponto, utiliza-se a técnica da interpolação, gerando assim uma coordenada (MOHAN et al., 2011, p. 4). O padrão projetado pelo trabalho pode ser visto na Figura 5, que mostra o padrão sobre toda a cena na esquerda, e na direita uma ampliação do padrão que foi projetado.

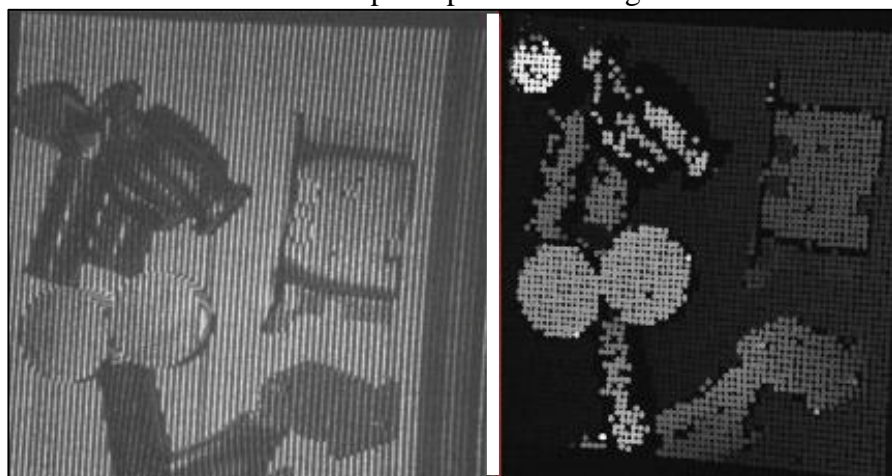
Figura 5 - Na esquerda o padrão projetado e na direita uma ampliação do padrão projetado



Fonte: Mohan et al. (2011).

Continuando o processo para a detecção do relevo, é calculado a profundidade de cada ponto onde o padrão foi projetado. A partir disso um mapa de profundidade é gerado. Podemos ver na esquerda da Figura 6 a cena recebendo o padrão escolhido e a direita o mapa de altura que foi gerado após calcular a profundidade de cada ponto na cena.

Figura 6 - A imagem da esquerda mostra a cena com o padrão sendo projetado. Na imagem da direita é o mapa de profundidade gerado



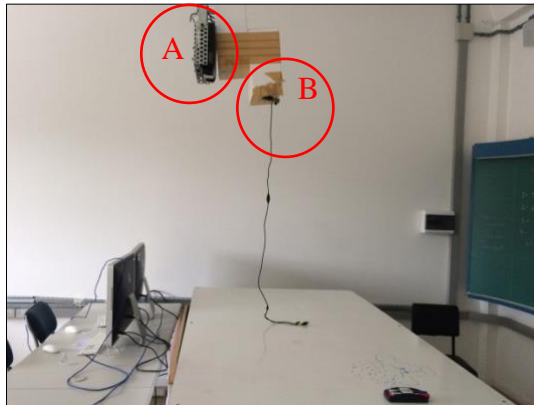
Fonte: adaptado de Mohan et al. (2011).

O trabalho obteve uma taxa de erro menor que 5% ao detectar incorretamente a profundidade de um ponto, houveram problemas em relação ao padrão projetado que não foi o ideal. Na etapa de calibração também obtiveram problemas, onde para conseguir calibrar corretamente, foi necessário tirar duas fotos do marcador (MOHAN et al., 2011, p. 5). Para melhorar os resultados obtidos, espera-se melhorar o alcance da profundidade e a resolução combinando a técnica ativa com luz estruturada contendo um padrão de projeção melhor (MOHAN et al., 2011, p. 6).

3 BIBLIOTECA ATUAL

Em desenvolvimento por Storz (2017), a biblioteca para detecção de relevos tem como objetivo utilizar a programação GPU para realizar a detecção de relevos em tempo real, tendo em vista que de acordo com seus trabalhos correlatos, apenas um trabalho utiliza-se dessa técnica e que por fim, não realiza a exportação da nuvem de pontos. Para o processo de triangularização ativa, Storz (2017) utiliza uma câmera para captura de imagens e um projetor (também chamado de câmera) para realizar a inserção de um sinal luminoso na cena. O ambiente onde Storz (2017) faz a utilização das câmeras e como foi montado, pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 Ambiente de testes utilizado por Storz (2017), sendo a área A o projetor e B a Webcam



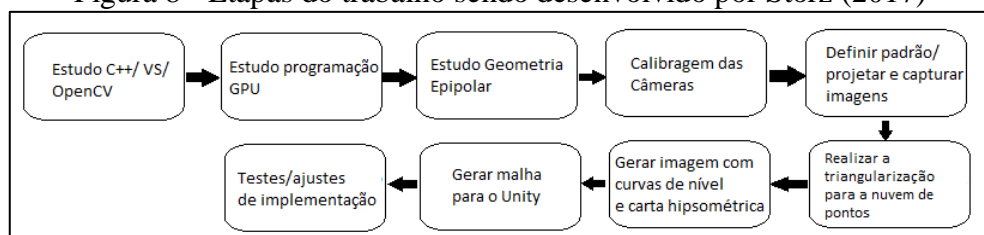
Fonte: Autor

Para o desenvolvimento, Storz (2017) definiu alguns requisitos, sendo os principais:

- projetar e definir um padrão de imagem que será utilizado como marcador no ambiente para futura reconstrução (Requisito Funcional - RF);
 - capturar imagens da cena que será utilizada para realizar o reconhecimento do relevo a partir de uma Webcam (RF);
 - realizar a reconstrução por triangulação ativa para reconhecer a profundidade do relevo (RF);
 - gerar a nuvem de pontos da imagem capturada em tempo real para reconhecer e gerar o modelo de superfície digital da imagem (RF);
 - gerar um *dataset* capaz de carregar o modelo na ferramenta Unity (RF); [...]
- (STORZ, 2017, p. 9).

Relacionando os requisitos acima descritos no trabalho de Storz (2017) com a Figura 8 consegue-se perceber que alguns dos requisitos estão explícitos e outros acabaram sendo incorporados como uma parte de um processo maior. Entre as principais etapas existe a etapa sobre o estudo das tecnologias que serão utilizadas como o C++, OpenCV e programação em GPU. Além disso, o processo de triangulação ativa também pode ser observado com a calibragem das câmeras, definição e projeção do padrão, a captura das imagens e a triangulação para medir as geometrias da cena. Também demonstra a parte final, que é a de exibição para o usuário final, onde a interação é realizada com a geração de imagens de curvas de nível e cartas hipsométricas, além da geração do mapa para ser importado na plataforma Unity.

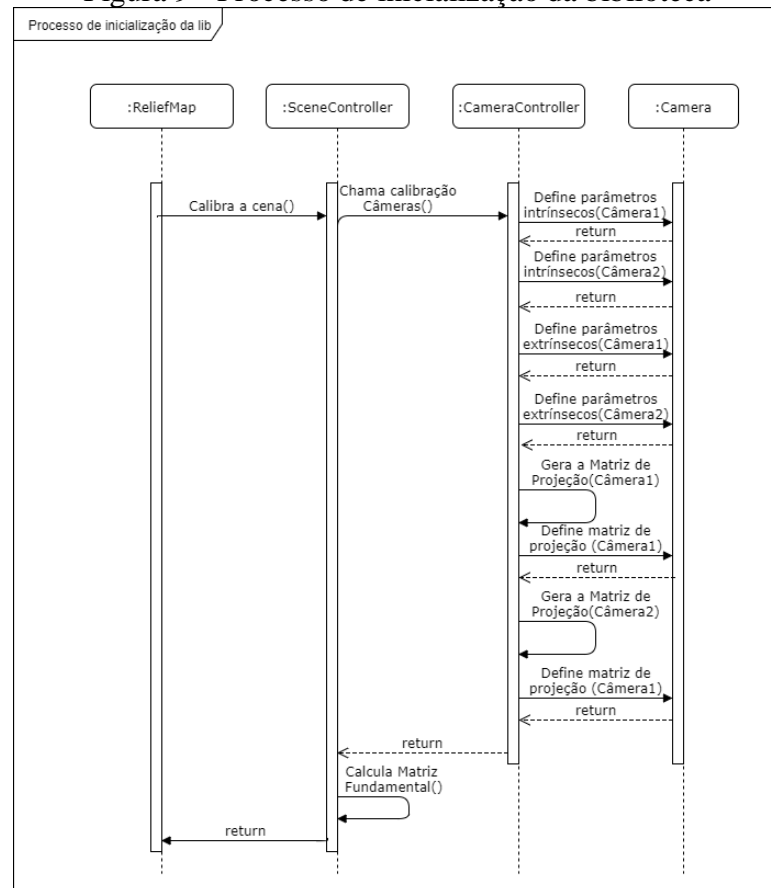
Figura 8 - Etapas do trabalho sendo desenvolvido por Storz (2017)



Fonte: Storz (2017)

Como pode-se observar, o trabalho de Storz (2017, p. 9) aperfeiçoa o trabalho desenvolvido por Li, Straub e Prutzsch (2004), adicionando a otimização do processamento via GPU, a fim de ter a visualização da carta hipsométrica e das curvas de nível em tempo real no Unity. No processo de calibração, no trabalho de Storz (2017) a definição dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos é realizada manualmente. Junto com a configuração dos parâmetros é utilizado o conceito da Geometria Epipolar para que seja obtido a referência de pontos entre as duas câmeras, fazendo com que um ponto x da câmera um, corresponda a um ponto x' da câmera dois (STORZ, 2017). Todo esse processo é realizado ao iniciar a biblioteca e pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 - Processo de inicialização da biblioteca



Fonte: Storz (2017)

4 PROPOSTA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a justificativa para a elaboração deste trabalho, assim como detalhes sobre os requisitos e metodologia que será utilizada.

4.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com a análise do Quadro 1, o trabalho proposto por Storz (2017) começa a agrupar a funcionalidade do reconhecimento de relevos baseados em imagens com

processamento por GPU e exportação do relevo obtido em tempo real. Tais funcionalidades ainda não haviam sido agrupadas em um único trabalho. Um aspecto interessante, é que apenas o trabalho de Zaaijer (2013) realizava a otimização do processamento na GPU e Storz (2017) acabou incorporando essa funcionalidade no trabalho de Li, Straub e Prautzsch (2004). Também é possível notar que apenas o trabalho apresentado por Zaaijer (2013) não utiliza o reconhecimento de relevo por imagens. Mohan et al. (2011) acaba apenas realizando o reconhecimento por imagens e gerando um mapa de profundidade da cena reconhecida, tendo em vista que o trabalho desenvolvido estuda a detecção de cenas em ambiente totalmente adverso, característica que é exclusiva dele.

Quadro 1 – Quadro de trabalhos correlatos

Trabalho correlato Característica	Li, Straub e Prautzsch (2004)	Zaaijer (2013)	Mohan et al. (2011)	Storz (2017)
Reconhecimento de relevos	Sim	Sim	Sim	Sim
Reconhecimento de relevos por imagens	Sim	Não	Sim	Sim
Otimização na GPU	Não	Sim	Não	Sim
Construção do modelo 3D	Sim	Sim	Não	Sim
Geração da nuvem de pontos	Sim	Não	Não	Sim
Mapa de profundidade	Não	Não	Sim	Não
Adaptada para ambientes adversos	Não	Não	Sim	Não

Fonte: elaborado pelo autor.

Com o objetivo de que o trabalho de Storz (2017) consiga melhores desempenhos para que esteja pronto para ser utilizado em aplicações reais, existe a necessidade de realizar melhorias principalmente no comportamento da biblioteca em condições adversas, como a falta ou o excesso de luminosidade na cena, calibração manual incorreta e etc. Fazendo isso a situação de ambiente adverso demonstrada no trabalho de Mohan et al. (2011) seria incorporada no trabalho proposto por Storz (2017). Isso faria com que o trabalho de Li, Straub e Prautzsch (2004) incorporasse a otimização na GPU, proposta por Zaaijer (2013), e a utilização em ambientes adversos propostas por MOhan et al. (2011).

Com a melhoria da biblioteca, ela poderia trazer contribuições para o ensino sobre relevos, criação de ambientes 3D, na simulação de eventos naturais, ensino e também na área da robótica. Um exemplo disto, seria o trabalho apresentado por CAIXA E ÁGUA (2015), que tem como objetivo de ensinar conteúdos sobre a água para alunos do ensino fundamental até no ensino médio. Caso a biblioteca proposta fosse utilizada no trabalho CAIXA E ÁGUA (2015), uma redução nos custos dos sensores pode ser alcançada, tendo em vista que atualmente o sensor usado para recuperar informações do relevo é um Kinect e poderia ser substituído por uma Webcam.

4.2 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

A biblioteca a ser desenvolvida deve permitir:

- a) utilizar uma WebCam para capturar imagens de uma cena que será realizada o reconhecimento do relevo (Requisito Funcional – RF);
- b) detectar a profundidade do relevo pelo método da triangularização ativa (RF);
- c) gerar *dataset* do relevo obtido, a fim de ser exportado para o Unity (RF);
- d) gerar a nuvem de pontos da imagem capturada da cena em tempo real (RF);
- e) permitir que a biblioteca seja utilizada em ambientes com condições de iluminação adversas (RF);
- f) utilizar a linguagem de programação C++ (Requisito Não Funcional – RNF);
- g) utilizar a API CUDA para o desenvolvimento de códigos para GPU (RNF);
- h) ser desenvolvida para rodar no sistema operacional Windows (RNF);
- i) utilizar a biblioteca CGAL (Computational Geometry Algorithms Library) para a triangularização de modelos (RNF).

4.3 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico: realizar o levantamento bibliográfico de fontes relacionadas ao domínio do estudo a ser realizado, como a fundamentação da visão computacional para reconhecimento de relevos através de imagens, da programação para GPU através da API CUDA e a análise de incerteza para comparação entre o trabalho proposto e o trabalho base de Storz (2017);
- b) elicitação de requisitos: detalhar e reavaliar os requisitos, se forem observadas inconsistências na etapa anterior;
- c) especificação: formalizar a modelagem da biblioteca proposta de acordo com a Unified Modeling Language (UML), utilizando a ferramenta Astah;
- d) implementação: implementar as melhorias na ferramenta proposta por Storz (2017), utilizando a linguagem de programação C++ na IDE Microsoft Visual Studio juntamente com uma placa gráfica do modelo NVIDIA. Para geração da superfície, a utilização da CGAL;
- e) experimentação: em paralelo com a implementação, realizar alterações de luminosidade, distância, câmeras e etc., para buscar resultados melhores;
- f) validação: elaboração de testes para validar se a biblioteca gera corretamente a nuvem de pontos e se as etapas nesse processo estão funcionando corretamente.

Além disso, verificar se a plataforma Unity importa corretamente o *dataset* gerado;

g) análise dos resultados: analisar os resultados obtidos pela biblioteca e realizar comparações com trabalhos correlatos.

As etapas acima serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 2.

Quadro 2 - Cronograma

etapas / quinzenas	2018									
	fev.		mar.		abr.		maio		jun.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
levantamento bibliográfico										
elicitação de requisitos										
especificação										
implementação										
experimentação										
validação										
análise de resultados										

Fonte: elaborado pelo autor.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

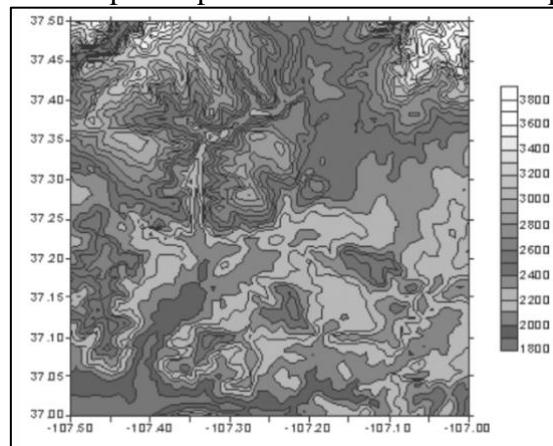
Nessa seção serão apresentados e discutidos conceitos básicos relacionados aos processos de representação de relevo, reconstrução por triangularização ativa, processamento paralelo através de GPU e também sobre a análise de incertezas.

5.1 REPRESENTAÇÃO DE RELEVOS

No processo de representação de relevos, onde as características do relevo são representadas em duas dimensões, é necessário realizar a representação fiel dos dois principais elementos do relevo: a altitude e a declividade (diferença de altitude entre dois pontos). Com isso, tal representação pode ser realizada utilizando dois métodos, a carta hipsométrica e curvas de nível. Vale salientar que ambos os métodos podem ser utilizados em um mesmo mapa (CAMPOS, 2008).

A carta hipsométrica utiliza cores para representar uma determinada classe de altitude em uma parte do relevo, quanto mais escura a cor, maior será a altitude representada, e quanto mais clara, mais baixa (CAMPOS, 2008). Mendonça (2007) também corrobora com a ideia de Campos (2008), citando uma convenção de altitudes, as mais elevadas sendo representadas com tons de marrom, tons de amarelo para representar médias altitudes e o verde para baixas altitudes.

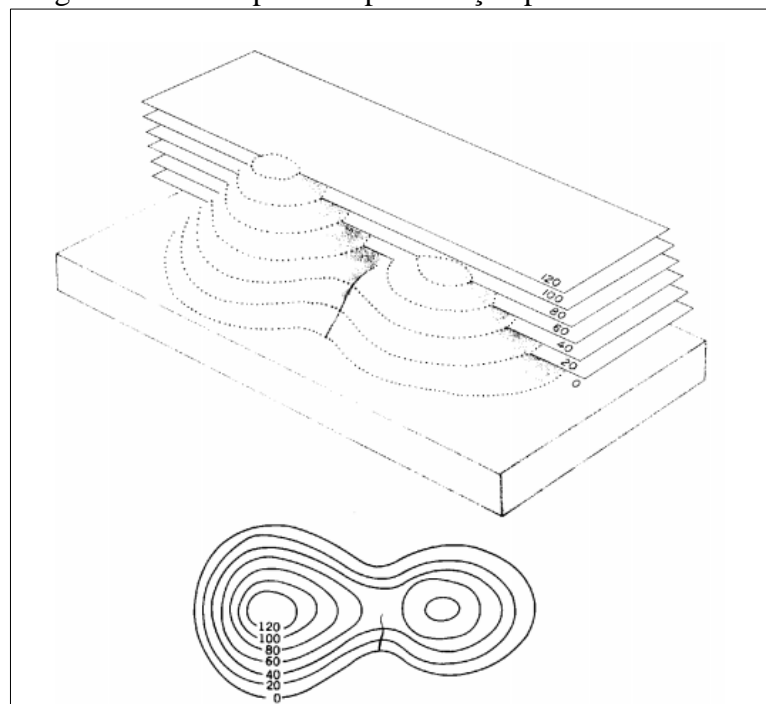
Figura 10 - Exemplo de padrão de cores em carta hipsométrica



Fonte: Campos (2008).

Já na representação através de curvas de nível, as variações de altitudes são representadas por linhas que demonstram intervalos verticais constantes (CAMPOS, 2008), que de acordo com a Figura 11, é possível observar que cada linha representa uma diferença constante de 20 metros de altura. Para facilitar o entendimento do funcionamento das curvas de nível, que são representadas bidimensionalmente, Campos (2008) demonstra um exemplo tridimensional de como as diferenças de altitude são representadas. Quando uma linha está muito distante uma da outra, significa que o terreno apresenta uma declividade suave naquele ponto, e quando apresentam linhas muito próximas, uma grande declividade (MENDONÇA, 2007), esse aspecto pode ser visto na parte central do terreno demonstrado na Figura 11, onde podemos observar a inexistência de linhas tão próximas, se comparadas com as laterais.

Figura 11 - Exemplo de representação por curva de nível



Fonte: Campos (2008).

5.2 RECONSTRUÇÃO DO RELEVO POR TRIANGULARIZAÇÃO ATIVA

As técnicas para obter informações de uma cena podem ser divididas em duas categorias: técnicas ativas e passivas. As técnicas passivas consistem em obter imagens de uma cena e, a partir da análise, estimar os ângulos, profundidades e as posições. Já as técnicas ativas, consistem na inserção de um sinal na cena, que pode ser luminoso ou ultrassônico, e com isso, a extração das informações é realizada a partir da análise das alterações desse sinal (FERNANDES, 2005, p. 6).

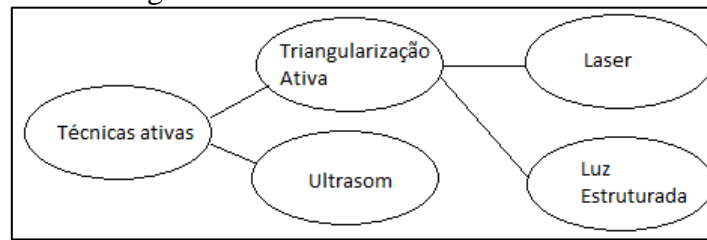
Ao trabalhar com técnicas baseadas em imagens, Fernandes (2005, p. 8) realiza uma enumeração de problemas que podem ocorrer:

- a) problema de correspondência: quando se trabalha com mais de uma imagem, é necessário relacionar os mesmos pontos nas diferentes imagens;
- b) as estruturas geométricas que serão analisadas da cena podendo não estar bem definidas por problemas de oclusão (algum objeto na frente da cena). Este problema pode dificultar a resolução para o problema de correspondência, tendo em vista que o mesmo ponto em uma imagem pode estar sendo ocultado em razão da oclusão;
- c) problemas no ajuste do foco ou a baixa resolução das imagens;
- d) distorção radial das imagens, que é um problema introduzido pela lente da câmera e se caracteriza por distorcer a imagem à medida que os pontos se afastam do “centro” da imagem.

Dependendo das características da técnica que será utilizada, é necessário verificar se a calibração de parâmetros se torna necessária ou não. Esses parâmetros podem ser internos (distorção radial, dimensão do pixel, distância focal e etc.) ou então externos (posição da câmera, orientação e etc.) e podem ser informados totalmente, parcialmente ou calculados ao longo do processo. Nesse processo é necessário tomar grande cuidado, caso contrário o sistema poderá causar grandes erros nas medições estimadas (FERNANDES, 2005, p. 9).

Nas técnicas ativas, existem algumas subdivisões que se caracterizam pela inserção de diferentes tipos de sinais na cena como a inserção de sinais ultrassônicos ou então baseado na inserção de luzes ou lasers na cena.

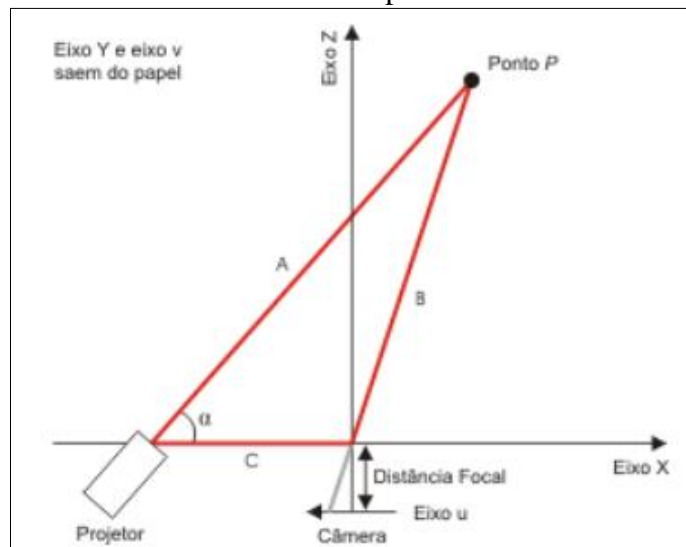
Figura 12 – Divisão de técnicas ativas



Fonte: adaptado de Fernandes (2005)

Neste trabalho, o método escolhido é o por triangularização ativa, utilizando uma luz estruturada como sinal para inserção na cena. Segundo Fernandes (2005, p. 10), este é provavelmente o método mais antigo e o mais utilizado para a medição das formas geométricas presentes no ambiente. O método consiste em utilizar a lei dos senos para determinar o ângulo e o comprimento dos lados a fim de determinar a distância até um ponto. Como na técnica ativa alguns parâmetros como posição do projetor em relação a câmera e o ângulo são conhecidos, a distância até o ponto P que representa a profundidade de um ponto na cena e é demonstrada na Figura 13, pode ser obtida pela lei dos senos.

Figura 13 - Exemplo prático de como a lei dos senos pode ser utilizada para determinar a distância do ponto P



Fonte: Fernandes (2005)

Conhecendo essa distância, se faz necessário apenas a projeção de um padrão de luz conhecido (normalmente linhas) para que se calcule a deformação do padrão em relação à altura do ponto P.

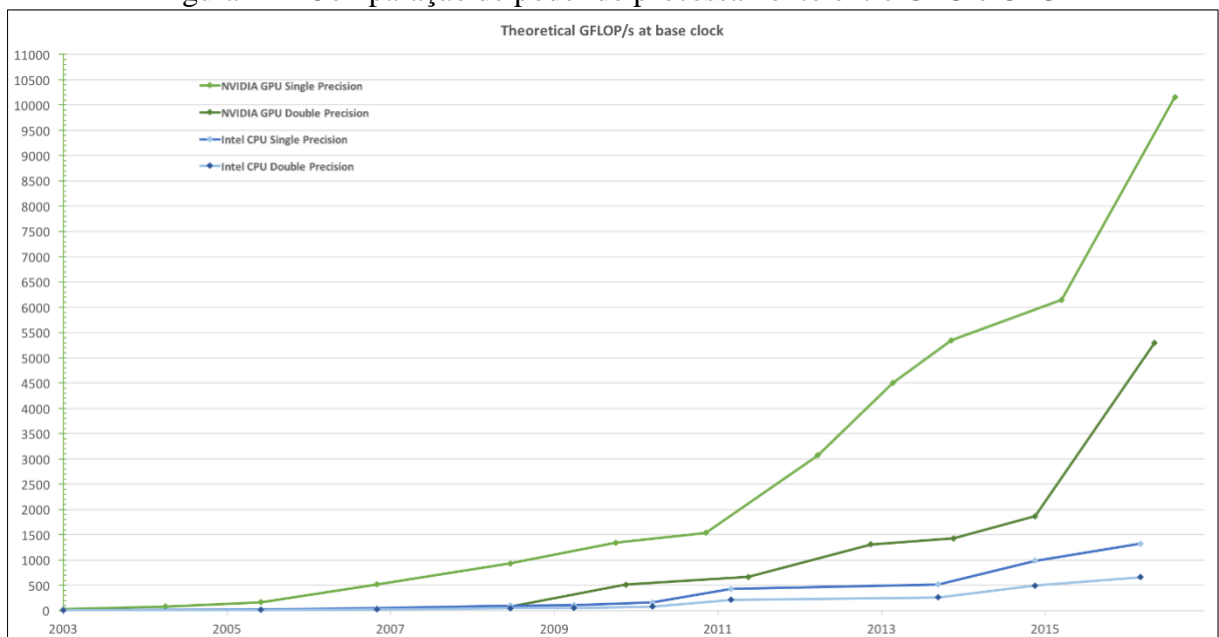
Para este projeto, Storz (2017) adota como padrão a utilização da triangularização ativa utilizando um padrão a ser emitido através de um projetor, ou seja, utilizando a triangularização ativa de luz estruturada e a partir de uma câmera calcular a deformação do padrão projetado sobre a cena.

5.3 PROCESSAMENTO NA PLACA GRÁFICA

Na visão computacional, diversas tarefas são formadas por operações aritméticas replicadas em um grande volume de dados. Essa caracterização descreve a qualidade desejada para esta aplicação se tornar uma boa candidata a usar o poder de processamento gráfico (VASCONCELOS, 2009, p. 11). De acordo com Gomes (2012, p. 45) a GPU é ideal para realizar a execução de cálculos paralelamente, fazendo com que aplicações que precisam de um grande processamento de informações sejam executadas mais rapidamente.

Conforme Pizzini (2014) demonstra em seu estudo, o tempo de renderização através da GPU, mostra-se aproximadamente seis vezes mais rápido que o processamento via CPU. A superioridade da GPU pode ser observada analisando dados informados pela NVIDIA (2017) que realiza a comparação entre o poder de processamento entre a GPU e CPU em quantidade de operações por segundo.

Figura 14 - Comparação de poder de processamento entre GPU e CPU



Fonte: NVIDIA (2017)

Para Zaaijer (2013, p. 32), aplicações em tempo reais devem trabalhar em uma média de 30 a 60 quadros por segundo. Com o objetivo deste trabalho de realizar a renderização do terreno em tempo real e tendo em vista a grande quantidade de dados que será processada, a utilização do processamento através de GPU se faz necessária. Para realizar esse processamento, a API CUDA disponível nas placas gráficas da NVIDIA é utilizada. Para interagir com a API, pode-se utilizar linguagens de programação familiares como C, C++ e Fortran. A programação deve se basear fortemente no conceito de *multithreading* que é necessário para realizar o processamento correto.

5.4 ANÁLISE DE INCERTEZA

O erro em um experimento pode ser calculado baseando-se na diferença entre os valores obtidos e os valores esperados (FERNANDES, 2005, p. 25). Com a finalidade de analisar os resultados obtidos pela melhoria realizada por este trabalho comparando com o trabalho proposto por Storz (2017), existe a necessidade de medir a acurácia e a precisão dos trabalhos. Para medir a acurácia e precisão é necessário entender a classificação dos erros que os trabalhos podem apresentar, Fernandes (2005, p. 25) classifica os erros que podem ocorrer em três categorias:

- a) erros ilegítimos: causados por falha na programação das rotinas ou na medição de entradas conhecidas;
- b) erros sistemáticos: são causados pela falha de calibração ou conclusões tendenciosas pelo observador. A distorção radial ou problemas associados a imprecisão numérica podem ser caracterizados como erros sistemáticos;
- c) erros randômicos: erros que não podem ser previstos e causam flutuações nos resultados, como por exemplo, o erro pode ser causado pela não utilização de equipamentos confiáveis.

Sendo assim, a acurácia é dependente de quão bem é possível controlar os erros sistemáticos e a precisão é o quão bem é possível controlar erros randômicos (FERNANDES, 2005, p. 26).

Em algumas situações, o valor verdadeiro pode não ser conhecido até a realização do experimento, com isso, a análise de incertezas está ligada diretamente aos erros randômicos, tendo em vista que erros ilegítimos e sistemáticos não causarão discrepâncias entre dois resultados obtidos em dois experimentos consecutivos. Para que a análise da incerteza seja associada a uma medição de erros, é necessário identificar possíveis fontes de erro para então mapear o fluxo e conseguir estimar a influência do erro no resultado final (FERNANDES, 2005, p. 26).

REFERÊNCIAS

- CAIXA E ÁGUA. **Conheça o projeto Caixa e Água**. [Blumenau], 2015. Disponível em: <<http://caixae-agua.blogspot.com.br/2016/07/conheca-o-projeto-caixae-agua.html>>. Acesso em: 08 set. 2017.
- CAMPOS, Antônio Carlos. **Representação do relevo nas cartas topográficas**. [S.I.]. [2008?]. Disponível em: <http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/11210904042012Cartografia_Basica_Aula_17.pdf>. Acesso em: 08 set. 2017.

- FERNANDES, Leandro Augusto Frata. **Estudo de Métodos para Extração de Formas e Realização de Medidas a Partir de Imagens**. 2005. 32 p. Trabalho Individual I (programa de pós-graduação em informática) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~laffernandes/projects/metrology/2005_UFRGS_TI/fernandes_TI_1159.pdf>. Acesso em: 05 set. 2017.
- GOMES, Diego A. Rodrigues. **Criação e manipulação de áudio 3D em tempo real utilizando unidades de processamento gráfico (GPU)**. 2012. 125 p. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade de Brasília, Brasília.
- LI, Hao; STRAUB, Raphael; PRAUTZSCH, Hartmut. Fast subpixel accurate reconstruction using color structured light. In: PROCEEDINGS OF THE FOURTH IASTED INTERNATIONAL CONFERENCE ON VISUALIZATION, IMAGING AND IMAGE PROCESSING, 4., 2004, Marbella. **Proceedings...** Marbella, IASTED, 2004, p. 396–401.
- MENDONÇA, Cláudio. **Topografia (1): Hipsometria e curvas de nível**. São Paulo. 2007. Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/topografia-1-hipsometria-e-curvas-de-nivel.htm>>. Acesso em: 07 set. 2017.
- MOHAN, San et al. 3D scanning of object surfaces using structured light and a single camera image. In: 2011 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING, 2011, Trieste. **Proceedings...** Trieste, IEEE, 2011, p. 151-156.
- NVIDIA. **CUDA C Programming Guide**. [S.I.]. 2017. Disponível em: <<http://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/index.html>>. Acesso em: 14 set. 2017.
- PENA, Rodolfo F. Alves. **O que é Relevo?**. [S.I.]. [2016?]. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-relevo.htm>>. Acesso em: 08 set. 2017.
- PIZZINI, Joe. **GPU Rendering vs CPU Rendering: a method to compare render times with empirical benchmarks**. [S.I.], 2014. Disponível em: <<http://blog.bbox.com/2014/10/02/gpu-rendering-vs-cpu-rendering-a-method-to-compare-render-times-with-empirical-benchmarks/>>. Acesso em: 07 set. 2017.
- STORZ, Kevin. **Biblioteca para detecção de relevos**. [2017]. 22 p. Projeto de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau. No prelo.
- VASCONCELOS, Cristina Nader. **Algoritmo para processamento de imagens e visão computacional para arquiteturas paralelas em placas gráficas**. 2009. 155 p. Tese (Doutorado em Informática) – PUC-Rio, Rio de Janeiro.
- ZAAIJER, Simon. **GPU Based Generation and Real-Time Rendering of Semi-Procedural Terrain Using Features**. 2013. 47 p. Dissertação (Mestrado em Informática) – Leiden Institute of Advanced Computer Science (LIACS), Leiden.
- ZOUPANTIS, Ionis. **Relevo**. [S.I.], [2009?]. Disponível em <<http://www.coladaweb.com/geografia/relevo>>. Acesso em: 08 set. 2017.

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 (PROJETO) – PROFESSOR TCC I

Acadêmico(a): _____

Avaliador(a): _____

ASPECTOS AVALIADOS ¹		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?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA Os assuntos apresentados são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
	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:

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

Assinatura: _____ Data: _____

¹ 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 (PROJETO) – PROFESSOR AVALIADOR

Acadêmico(a): _____

Avaliador(a): _____

ASPECTOS AVALIADOS ¹		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 Os assuntos apresentados são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
	As referências contemplam adequadamente os assuntos abordados (são indicadas obras atualizadas e as mais importantes da área)?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	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:

O projeto de TCC será reprovado, se:

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

PARECER: () APROVADO () REPROVADO

Assinatura: _____ Data: _____

¹ 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.